



ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ РАДИОЛЮБИТЕЛЯ

ББК 32.842
Р51
УДК 621.317.2

Ринский В. И.

Р51 Измерительная лаборатория радиолюбителя. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1983. — 104 с., ил. — (Массовая радиобиблиотека; вып. 1062).

75 к.

Описывается построенный автором комплект несложных малогабаритных радиоизмерительных приборов с автономным питанием, рассчитанный на изготовление и практическое применение его радиолюбителями. Даются рекомендации по методике налаживания приборов, их градуировке и эксплуатации. Кратко излагаются вопросы метрологии и измерительной техники применительно к радиолюбительской практике. Первое издание вышло в 1971 г. Настоящее издание дополнено описанием новых приборов.

Для широкого круга радиолюбителей, может быть полезна руководителям радиокружков.

$Р\frac{2402020000-062}{046(01)-83}$ 162-83 ББК 32.842 6Ф2.08

РЕЦЕНЗЕНТ канд. техн. наук А. А. БРЕДОВ

Редакция литературы по электронной технике

ПРЕДИСЛОВИЕ

В процессе изготовления, настройки и эксплуатации радиоаппаратуры значительное место занимают радиоизмерения. Нередко в любительских условиях, где обычно ведутся разработка и изготовление радиоэлектронного устройства в единственном экземпляре, измерения играют даже относительно бо́льшую роль, чем при серийном промышленном производстве. Поэтому радиолюбители, желающие добиться успехов в своей работе, должны уделять измерениям серьезное внимание.

Благодаря увеличению производства и расширению ассортимента промышленной радиоизмерительной аппаратуры с каждым годом улучшается оснащенность радиоклубов, лабораторий предприятий и учебных заведений различными измерительными приборами, которыми имеют возможность пользоваться, главным образом, наиболее квалифицированные любители. Эта часть радиолюбителей имеет достаточный, нередко профессиональный, опыт, позволяющий им грамотно эксплуатировать сложную измерительную аппаратуру и, вследствие этого, добиваться значительных успехов в разработке приборов для народного хозяйства, радиоспорте и других отраслях радислюбительской деятельности. Без измерений немыслимо конструирование таких сложных радиоэлектронных устройств, как телевизоры, любительские радиостанции, электромузыкальные инструменты и др.

Многие радиолюбители самостоятельно создают измерительную аппаратуру и имеют серьезные достижения в этой области, о чем свидетельствуют высокие оценки, получаемые лучшими конструкциями измерительных приборов на регулярно проводимых Всесоюзных радиовыставках. Таким образом, для опытных, квалифицированных радиолюбителей применение, а в ряде случаев и изготовление измерительной аппаратуры являются неотъемлемой составной частью их работы.

Гораздо меньшими возможностями в этом отношении располагают начинающие радиолюбители. Многие радиокружки, а тем более отдельные любители недостаточно обеспечены измерительной аппаратурой. Отсутствие радиоизмерительных приборов, а иногда и неумение ими пользоваться затрудняют работу и влекут за собой частые неудачи при налаживании конструкций. Приобретение измерительной аппаратуры и опыта работы с ней — процесс достаточно длительный, и поэтому осваивать радиоизмерительную технику необходимо уже на ранних этапах радиолюбительской деятельности. В противном случае отставание любителя в этой области неизбежно будет тормозить его дальнейшее совершенствование.

В радиолюбительской литературе описано значительное количество самодельных измерительных приборов, однако большинство из них довольно сложно и рассчитано на подготовленных любителей. Немаловажным фактором является и необходимость существенных материальных затрат на постройку таких приборов, особенно питающихся от электрической сети.

В данной книге, адресованной широкому кругу радиолюбителей, предлагаются разработанные и построенные автором несложные измерительные приборы, которые могут быть изготовлены как в радиокружках, так и самостоятельно. Описания конкретных практических конструкций сочетаются с краткими сведениями по основам радиоизмерительной техники, необходимыми для понимания принципа действия приборов и сущности происходящих в них процессов. Приводятся технические характеристики приборов, определяющие возможности их практического применения.

Кроме описания схем и конструктивного оформления приборов излагается методика их налаживания и градуировки. В ряде случаев рекомендуется не-

сколько методов градуировки, что облегчает практическую работу радиолюбителя в различных условиях, в том числе и домашних.

Описываемые приборы имеют простые, надежные схемы и содержат доступные детали и материалы. Большинство приборов построено на транзисторах, в некоторых применяются неоновые лампы и распространенные интегральные микросхемы. Все приборы весьма экономичны и питаются от внутренних источников тока.

Применение транзисторов, малогабаритных деталей и источников питания позволило существенно уменьшить габаритные размеры, массу и стоимость предлагаемых приборов. Дополнительным преимуществом автономного низковольтного питания является также безопасность налаживания и эксплуатации приборов, что особенно важно для начинающих любителей, не всегда уделяющих должное внимание соблюдению мер предосторожности при работе с радиоэлектронной аппаратурой.

Конструктивное устройство приборов несложно, и они могут быть изготовлены при наличии минимума слесарных и радиомонтажных инструментов. В большинстве приборов применен объемный монтаж, менее сложный по сравнению с печатным и позволяющий использовать детали различных габаритов. Благодаря этим особенностям изготовление большинства приборов вполне доступно для начинающих радиолюбителей при относительно небольших затратах времени и средств. Многие приборы имеют сходное конструктивное оформление, что также облегчает их изготовление, эксплуатацию и хранение.

В настоящем, втором издании книги помещены описания вновь разработанных приборов. Они предоставляют более широкий выбор для любителей, желающих путем самостоятельного изготовления приборов различного назначения постепенно создать небольшую радиоизмерительную лабораторию. Большинство описанных в первом издании приборов модернизировано с целью улучшения их технических параметров и эксплуатационных возможностей.

При разработке и изготовлении современной радиоприемной, телевизионной, спортивной и другой аппаратуры перед радиолюбителем возникают достаточно сложные технические задачи, решение которых требует различных радиоизмерений. С возрастанием сложности выполняемых работ и увеличением вносимой в них доли самостоятельного творчества любителя соответственно повышается и роль радиоизмерений в процессе изготовления, настройки и доводки аппаратуры. В связи с этим в книгу включены описания приборов различного назначения, которые позволяют производить большинство измерений, необходимых в радиолюбительской практике. Предусмотрена возможность использования ранее построенных приборов для налаживания и градуировки последующих, а также применение их в сочетании между собой и с другой аппаратурой.

Предлагаемая вниманию читателей книга должна помочь им в практической работе по созданию и использованию измерительной лаборатории. При этом предполагается творческий подход к конструированию и изготовлению приборов в зависимости от конкретных условий и возможностей любителей, в том числе различные изменения и усовершенствования. Естественно, что в процессе работы у читателей могут возникнуть вопросы, не нашедшие отражения в книге. В таких случаях следует обращаться к рекомендуемой литературе, из которой можно почерпнуть более глубокие и подробные сведения о радиоизмерениях и радиоизмерительной аппаратуре.

Отзывы и замечания по книге направляйте по адресу: 101000, Москва, Главпочтамт, а/я 693, издательство «Радио и связь», Массовая радиобиблиотека.

Автор

РАДИОИЗМЕРЕНИЯ В ЛЮБИТЕЛЬСКОЙ ПРАКТИКЕ

ЗНАЧЕНИЕ РАДИОИЗМЕРЕНИЙ

Радиолюбители-конструкторы обычно начинают свою деятельность с повторения описанных в литературе простых радиоэлектронных устройств бытового назначения: усилителей и радиоприемников. На этом начальном этапе конструкторского пути радиолюбитель уделяет основное внимание конкретной практической работе — механической обработке материалов, изготовлению моточных деталей и монтажу устройства. Располагая необходимым минимумом инструментов и деталей, радиолюбитель может более или менее успешно завершить сборку своего изделия. Однако работа на этом не заканчивается: построенный приемник или усилитель нуждается еще в налаживании и настройке. Во многих случаях при первом опробовании обнаруживается, что изготовленная конструкция работает не так, как это предполагалось, или даже вообще бездействует. Нередко это оказывается неожиданностью для неопытного конструктора, и он склонен полагать, что причина неудовлетворительной работы заключается лишь в недоброкачественной детали или случайной ошибке в монтаже.

При отсутствии измерительной аппаратуры поиски неисправности представляют собой трудоемкую, длительную, а иногда и безрезультатную работу. В таких условиях налаживание радиоустройства неминуемо сводится к попыткам улучшить его действие подбором и заменой деталей или частичным и даже полным перемонтажом. Добиться хороших результатов такими методами чаще всего не удается, а достигаемый изредка случайный успех порождает у некоторых радиолюбителей несерьезное отношение к радиоизмерениям.

Радиолюбительская деятельность включает в себя различные виды практических работ, которые, по мере возрастания сложности, могут быть представлены в следующем порядке: простейший ремонт промышленной аппаратуры, повторение описанных в литературе конструкций, повторение конструкций с внесением в них изменений и усовершенствований, самостоятельное конструирование аппаратуры на основе известных схем, конструирование с применением вновь разрабатываемых схемных и конструктивных решений. Возможности творческого роста радиолюбителя и сроки, в течение которых он преодолевает промежуточные этапы на пути к самостоятельной конструкторской работе, во многом зависят от наличия в его распоряжении необходимых измерительных приборов и умения ими пользоваться. Естественно, что с возрастанием сложности выполняемых радиолюбителем работ и увеличением вносимой в них доли самостоятельного творчества соответственно повышается и роль радиоизмерений в процессе изготовления, налаживания, настройки и доводки аппаратуры.

В радиолюбительской практике находят применение как промышленные, так и самодельные измерительные приборы. По своим техническим данным самодельные приборы в большинстве случаев уступают промышленным, однако, будучи тщательно налаженными и отградуированными, они вполне удовлетворяют требованиям любительской практики. Несложные радиоизмерительные приборы могут быть построены радиолюбителями при сравнительно небольших затратах времени и средств. При этом целесообразно изготовлять комплект приборов в такой последовательности, чтобы уже завершенные приборы использовались при постройке последующих. Самостоятельное изготовление приборов позволит радиолюбителю постепенно создать небольшую измерительную лабораторию. Имеющиеся в ней приборы, сочетаясь и взаимно дополняя один

другой, дадут возможность производить необходимые измерения при изготовлении, налаживании, проверке, ремонте и эксплуатации различной радиоэлектронной аппаратуры.

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ МЕТРОЛОГИИ

Метрология — это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Метрология тесно соприкасается с измерительной техникой, под которой понимают как все технические средства, с помощью которых выполняют измерения, так и технику проведения измерений.

Технические объекты, в частности радиоэлектронные устройства, а также их детали, элементы, узлы, блоки характеризуются физическими величинами. Физическая величина — это свойство, общее в качественном отношении многим объектам, но для каждого из них — индивидуальное в количественном отношении. Например, все резисторы (объекты) обладают электрическим сопротивлением, однако его количественное содержание у разных резисторов различное. Количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию «физическая величина», называется размером физической величины. Оценка величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц называется значением физической величины. Единица физической величины — это физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице. Кроме исходных единиц применяются также дольные и кратные единицы. Некоторые электрические величины и единицы их измерения представлены в табл. 1.

Истинным значением физической величины называют такое ее значение, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта. Действительное значение физической величины — это значение, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному, что для данной цели может быть использовано вместо него.

Измерением называется нахождение значения физической величины с помощью специальных технических средств — средств измерений. К ним относятся меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, установки и системы.

Мерой называется средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. Так, мерой емкости может служить конденсатор, мерой индуктивности — катушка индуктивности и т. д. Однозначные меры воспроизводят физическую величину одного размера (например, катушка сопротивления). Наборы мер состоят из частей, которые могут использоваться как отдельно, так и в различных сочетаниях (например, набор катушек сопротивления). Магазины мер представляют собой меры, соединенные в одно целое (например, магазин сопротивлений). Многозначные меры воспроизводят ряд одноименных величин разного размера (например, конденсатор переменной емкости).

Измерительным преобразователем называется средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем. Передающие преобразователи служат для преобразования измеряемой величины в другую физическую величину и передачи ее на расстояние (например, преобразователь постоянного напряжения в частоту переменного напряжения). Масштабные преобразователи служат для изменения значения измеряемой величины в заданное число раз (например, усилитель увеличивает измеряемое напряжение соответственно установленному коэффициенту усиления, трансформатор увеличивает или уменьшает значение измеряемого напряжения пропорционально коэффициенту трансформации и т. п.).

Измерительным прибором называется средство измерений, вырабатывающее сигнал измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Например, вольтметр вырабатыва-

Таблица 1

Электрические величины и единицы их измерения

Наименованне величины	Единица измерения и ее обозначение	Употребительные дольные единицы и их обозначения	Употребительные кратные единицы и их обозначения
Сила тока	Ампер (А)	Миллиампер (мА) 1 мА$=10^{-3}$ А; микроампер (мкА) 1 мкА$=10^{-6}$ А	Килоампер (кА) 1 кА$=10^{3}$ А
Напряжение	Вольт (В)	Милливольт (мВ) 1 мВ$=10^{-3}$ В; микровольт (мкВ) 1 мкВ$=10^{-6}$ В	Киловольт (кВ) 1 кВ$=10^{3}$ В
Мощность	Ватт (Вт)	Милливатт (мВт) 1 мВт$=10^{-3}$ Вт; микроватт (мкВт) 1 мкВт$=10^{-6}$ Вт	Киловатт (кВт) 1 кВт$=10^{3}$ Вт
Сопротивление	Ом (Ом)	Миллиом (мОм) 1 мОм$=10^{-3}$ Ом	Килоом (кОм) 1 кОм$=10^{3}$ Ом; мегом (МОм) 1 МОм$=10^{6}$ Ом
Емкость	Фарада (Ф)	Микрофарада (мкФ) 1 мкФ$=10^{-6}$ Ф; нанофарада (нФ) 1 нФ$=10^{-9}$ Ф; пикофарада (пФ) 1 пФ$=10^{-12}$ Ф	—
Индуктивность	Генри (Гн)	Миллигенри (мГн) 1 мГн$=10^{-3}$ Гн; микрогенри (мкГн) 1 мкГн$=10^{-6}$ Гн	—
Частота	Герц (Гц)	—	Килогерц (кГц) 1 кГц$=10^{3}$ Гц мегагерц (МГц) 1 МГц$=10^{6}$ Гц

ет сигнал информации о значении измеряемого напряжения в виде отклонения стрелки на определенное число делений шкалы, которое визуально воспринимается наблюдателем.

Измерительные установки и системы представляют собой совокупность средств измерений и вспомогательных устройств, которые могут быть расположены в одном месте (установки) или соединяться между собой каналами связи (системы).

Одним из важнейших качеств измерений является их воспроизводимость, отражающая близость результатов измерений, выполняемых в различных условиях (в различное время, в различных местах, различными методами и средствами). Необходимым для этого условием является единообразие средств измерений, характеризующееся тем, что они проградуированы в узаконенных единицах и их метрологические свойства соответствуют нормам. Единообразие средств измерений обеспечивается деятельностью органов метрологической службы, которая осуществляет надзор за средствами измерений и устанавливает пригодность их к применению.

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

В зависимости от метрологических функций средства измерений подразделяются на эталонные, образцовые и рабочие. Эталон — средство измерений, обеспечивающее воспроизведение и хранение единицы физической величины с наивысшей точностью для передачи ее размера нижестоящим средствам измерений. Эталоны разрабатываются, воспроизводятся и хранятся метрологическими институтами. Образцовое средство измерений — это мера, измерительный прибор или преобразователь, которые служат для поверки и градуировки по ним других средств измерений и утвержденные в качестве образцовых. Рабочее средство измерений — средство, применяемое для практических измерений, не связанных с передачей размера единиц физических величин.

В радиолюбительской практике используются электроизмерительные и радиоизмерительные приборы. Электроизмерительные приборы применяют для измерения на постоянном и переменном токах низкой частоты режимов электрических цепей, характеризующих их энергетическое состояние (токов, напряжений), а также параметров цепей и их элементов (сопротивлений, индуктивностей, емкостей и т. п.). Большинство из них снабжено стрелочными измерительными приборами для отсчета показаний — значений измеряемой величины. Однако в последнее время получили распространение также электроизмерительные приборы с электронными измерительными преобразователями и цифровыми табло для отсчета показаний в числовой форме.

Радиоизмерительные приборы применяют для наблюдения и измерения параметров радиосигналов, основных величин, характеризующих параметры и режимы работы радиотехнических устройств и их элементов на радиочастотах, а также в качестве источников различных испытательных сигналов. Большинство радиоизмерительных приборов являются электронными, так как содержат различные электронные измерительные преобразователи: усилители, генераторы, смесители, детекторы и др. Для отображения измерительной информации, наряду со стрелочными приборами, используются также цифровые индикаторы (табло), электронно-лучевые трубки, электронно-световые индикаторы. В некоторых случаях информация представляется в форме звуковых сигналов для слухового восприятия.

Характерной особенностью радиоизмерений является чрезвычайно широкая область значений измеряемых величин — диапазон измерений. Даже в одном и том же радиоэлектронном устройстве значения измеряемой величины могут отличаться в тысячи раз и более. Например, в мощном транзисторном усилителе коллекторные токи каскадов предварительного усиления могут составлять десятые доли миллиампера, а ток, потребляемый выходным каскадом, — несколько ампер. В телевизоре содержатся резисторы сопротивлением от нескольких ом до нескольких мегом, конденсаторы емкостью от единиц пикофарад до сотен микрофарад. В различных цепях его действуют постоянные напряжения от десятых долей вольта до нескольких киловольт и даже десятков киловольт. Для обеспечения измерений в столь широких диапазонах они разбиваются на несколько поддиапазонов. Наименьшее и наибольшее значения измеряемой величины в данном поддиапазоне называются соответственно нижним и верхним пределами измерений, а сам измерительный прибор — многопредельным. Типичный пример такого прибора — авометр, в котором имеется по нескольку пределов измерения тока, напряжения и сопротивления.

В зависимости от способа нахождения значения измеряемой величины различают прямые и косвенные измерения. При *прямом измерении* значение измеряемой величины находят непосредственно из опытных данных с помощью измерительного прибора. Например, постоянный ток можно измерить непосредственно электроизмерительным прибором — амперметром, постоянное напряжение — вольтметром и т. п. При *косвенном измерении* значение величины находят на основании известной зависимости этой величины от других величин, значения которых получаются прямыми измерениями. Например, сопротивление резистора может быть вычислено на основании закона Ома по измеренным значениям тока через резистор и напряжения на нем.

Методом измерения называется совокупность приемов использования физических явлений, на которых основаны измерения, и средств измерений. *Методом непосредственной оценки* значение физической величины определяется по отсчетному устройству измерительного прибора. Например, значение измеряемого напряжения определяется непосредственно по шкале вольтметра. Этот метод наиболее простой и распространенный, но его точность зависит от точности прибора. Большей точностью обладают *методы сравнения с мерой*, при которых значение измеряемой величины находят сравнением ее с величиной, воспроизводимой мерой. Существует несколько разновидностей этих методов.

При *нулевом методе* доводят до нуля результат воздействия на прибор сравнения измеряемой величины и величины, воспроизводимой мерой. Одно из важнейших применений этого метода — измерительные мосты, в которых прибор сравнения служит лишь для установки нулевого результата воздействия обеих величин. Другой пример — измерение частоты колебаний методом нулевых биений, когда при совпадении измеряемой частоты с частотой образцового генератора возникают нулевые биения: прекращается звучание телефона, служащего прибором сравнения. *Дифференциальный метод* характеризуется воздействием на измерительный прибор разности между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой. Например, измерение вольтметром разности между измеряемым напряжением и известным напряжением встречно-включенного образцового источника (меры) дает более точный результат, чем непосредственное измерение напряжения вольтметром. В *методе замещения* измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой. Например, измеряемую емкость замещают емкостью, воспроизводимой образцовым конденсатором переменной емкости или магазином емкостей (мерой).

Помимо самостоятельного применения, методы сравнения с мерой используются также и при градуировке измерительных приборов, предназначенных для непосредственной оценки измеряемых величин.

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Вследствие ряда причин: несовершенства методов измерений и органов чувств наблюдателя, ограниченной точности и стабильности средств измерений, неучитываемых влияний окружающей среды и др., — результат измерений всегда отличается от истинного значения измеряемой величины. Отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины называется *погрешностью измерения*. Перечисленные причины возникновения погрешностей являются источниками многочисленных факторов, под влиянием которых складывается *суммарная погрешность измерения*.

Абсолютной погрешностью измерительного прибора (меры) ΔA называется разность между показанием прибора A (номинальным значением меры, указанным на ней или приписанным ей) и истинным значением $A_и$ измеряемой (воспроизводимой) величины:

$$\Delta A = A - A_и. \qquad (1)$$

В зависимости от соотношения между A и $A_и$ абсолютная погрешность может оказаться положительной или отрицательной. В некоторых случаях один и тот же прибор (или многозначная мера) может иметь на одних участках шкалы (отсчетного приспособления) положительную, а на других — отрицательную аб-

солютную погрешность. Абсолютная погрешность, взятая с обратным знаком, называется **поправкой** прибора (меры). Очевидно, поправка—это значение, которое необходимо прибавить к показанию прибора (номинальному значению меры) чтобы получить истинное значение измеряемой (воспроизводимой) величины.

Относительной погрешностью измерительного прибора (меры) δ называется отношение абсолютной погрешности ΔA прибора (меры) к истинному значению $A_и$ измеряемой (воспроизводимой) величины. Обычно относительную погрешность выражают в процентах:

$$\delta = \frac{\Delta A}{A_и} \cdot 100\% = \frac{A - A_и}{A_и} \cdot 100\%. \qquad (2)$$

Приведенной погрешностью измерительного прибора γ называется отношение его абсолютной погрешности ΔA к нормирующему значению шкалы L, выраженное в процентах:

$$\gamma = \frac{\Delta A}{L} \cdot 100\% = \frac{A - A_и}{L} \cdot 100\%. \qquad (3)$$

Для приборов с равномерной шкалой и нулевой отметкой на краю шкалы или вне ее пределов нормирующим считается конечное значение шкалы. При практических расчетах по формулам (1)—(3) истинные значения величин $A_и$, которые никогда не бывают известны, заменяют их действительными значениями.

Пример. Определить абсолютную, относительную и приведенную погрешности и поправку, если показание миллиамперметра со шкалой 0—100 мА равно 48 мА, а действительное значение измеряемого тока 50 мА.

Согласно формуле (1) абсолютная погрешность ΔI=48 мА—50 мА=—2 мА, а поправка равна 2 мА. По формулам (2) и (3) относительная погрешность равна

$$\delta = \frac{-2 \text{ мА}}{50 \text{ мА}} \cdot 100\% = -4\%,$$

а приведенная

$$\gamma = \frac{-2 \text{ мА}}{100 \text{ мА}} \cdot 100\% = -2\%.$$

При разных измерениях абсолютная, а следовательно, и относительная погрешности могут быть положительными или отрицательными. В большинстве случаев при использовании технических измерительных приборов знак погрешности заранее не известен. В этих случаях положительные и отрицательные погрешности считаются равновероятными, и при указании относительной погрешности проставляются оба знака. Часто при записи знак ± опускается. Однако и при такой записи необходимо учитывать, что действительное значение измеряемой величины может быть как больше, так и меньше показаний прибора.

Гарантируемая точность измерительного прибора определяется его **классом точности**, который численно равен выраженной в процентах максимальной приведенной погрешности, определяемой в нормальных условиях: при температуре окружающего воздуха 293±5K (20±5° C), атмосферном давлении 100±4 кПа (750±30 мм рт. ст.), относительной влажности 65±15% и нормальном положении прибора. Промышленностью выпускаются электроизмерительные приборы девяти классов точности: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 и 4,0. В радиолюбительской практике, где обычно нет необходимости в высокой точности измерений, чаще всего применяются приборы классов 1,5; 2,5 и 4,0. Во многих случаях удовлетворительная для любительских целей точность обеспечивается даже внеклассными приборами.

Необходимо учитывать, что класс точности не определяет окончательно фактическую относительную погрешность измерений, поскольку он равен относительной погрешности, приведенной к конечному значению шкалы, а при измерениях показания прибора составляют лишь часть конечного значения

шкалы. При этом относительная погрешность оказывается больше приведенной.

Пример. Определить относительные погрешности при измерении токов 150, 50 и 10 мА миллиамперметром класса 2,5 со шкалой 0—200 мА.

Максимальная абсолютная погрешность при любом значении измеряемого тока одинакова и может быть найдена с помощью формулы (3), из которой следует, что

$$\Delta I = \frac{\gamma L}{100\%} = \frac{\pm 2{,}5\% \cdot 200\ \text{мА}}{100\%} = \pm 5\ \text{мА}.$$

При измерении тока 150 мА максимальная относительная погрешность, согласно формуле (2), равна

$$\delta_1 = \frac{\Delta I}{I_{д1}} \cdot 100\% = \frac{\pm 5\text{мА}}{150\ \text{мА}} \cdot 100\% = \pm 3{,}3\%,$$

при измерении тока 50 мА

$$\delta_2 = \frac{\Delta I}{I_{д2}} \cdot 100\% = \frac{\pm 5\ \text{мА}}{50\ \text{мА}} \cdot 100\% = \pm 10\%,$$

а при измерении тока 10 мА достигает

$$\delta_3 = \frac{\Delta I}{I_{д3}} \cdot 100\% = \frac{\pm 5\ \text{мА}}{10\ \text{мА}} \cdot 100\% = \pm 50\%.$$

Причины возникновения погрешностей измерения можно объединить в две группы: случайные (в том числе и грубые погрешности и промахи), изменяющиеся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины; систематические погрешности, остающиеся постоянными или закономерно изменяющиеся при повторных измерениях. В процессе измерения оба вида погрешности проявляются одновременно, и погрешность измерения можно представить в виде их суммы.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАДИОИЗМЕРЕНИЙ

Приступая к выполнению измерений, необходимо заранее четко представлять себе их цель и пути ее достижения и наличие соответствующих средств измерений. Бессистемные измерения не дают ясной картины происходящих в исследуемом устройстве процессов и не способствуют экономии времени и труда, затрачиваемых на налаживание, настройку и ремонт радиоэлектронной аппаратуры.

Ввиду значительного разнообразия применяемых в радиоаппаратуре схем, как и с точки зрения их функциональных свойств, так и технического выполнения, невозможно привести подробные рекомендации по оптимальному планированию измерений для каждого конкретного случая. Обычно к заключению о необходимости тех или иных измерений приходят на основании анализа работы исследуемого устройства и результатов предыдущих измерений, применительно к его особенностям. Некоторые указания по проведению измерений обычно приводятся в описаниях радиолюбительских конструкций.

Планирование и выполнение измерений требуют учета технических характеристик средств измерений и критической оценки применяемой методики измерений. Нельзя забывать о том, что формально правильно выполненные измерения при пренебрежении оценкой их погрешностей и влияния различных побочных факторов могут привести к недостоверным и даже абсурдным результатам. Например, измерение напряжения вольтметром, входное сопротивление которого соизмеримо с сопротивлением участка измеряемой цепи, приводит к резко заниженному результату. Измерение омметром сопротивления участка цепи, шунтированного *p-n*-переходом полупроводникового прибора, дает неодинаковые результаты при различных полярностях и значениях приложенного напряжения. Значительные погрешности могут возникать при измерении высокочастотных напряжений в резонансных цепях из-за расстройки их входной ем-

костью присоединяемого вольтметра. В других случаях соединительные проводники могут создавать паразитные положительные обратные связи между элементами исследуемого устройства, что нарушает устойчивость его работы и даже приводит к генерации.

Многие из возможных ошибок при измерениях удается предотвратить, если выполнению измерений предшествуют анализ явлений, вызываемых присоединением к исследуемому устройству того или иного измерительного прибора, и оценка его пригодности для данного измерения. Если такая предусмотрительность будет проявляться, то даже неожиданные результаты измерений не введут радиолюбителя в заблуждение, а послужат сигналом о неправильном выборе средства или метода измерения.

Начинающим радиолюбителям рекомендуется ведение записей с указанием последовательности выполняемых измерений, полученных результатов и предполагаемых причин неудовлетворительной работы налаживаемого или ремонтируемого устройства. Такие записи способствуют развитию у любителя умения логически анализировать явления и процессы в радиоустройствах и могут пригодиться впоследствии в аналогичных случаях. При измерении электрического режима устройств целесообразно составлять таблицы, содержащие результаты измерений в той последовательности, в которой они производились. Это позволяет, в частности, оценивать изменения, происходящие в устройстве при различных регулировках, замене деталей и других операциях.

В некоторых случаях, например при градуировке измерительных приборов, результаты измерений оформляются в виде графика, отображающего зависимость между двумя величинами. График вычерчивается на миллиметровой бумаге, причем следует стремиться к использованию, по возможности, всей площади графика. Поэтому в общем случае следует откладывать значения величин на осях графика, начиная не от нулей, а от наименьшего значения, которое может и не равняться нулю. После разметки осей на график наносят точки с координатами, соответствующими числовым значениям величин, и соединяют их плавной кривой с помощью лекала. Не всегда обосновано стремление провести линию графика непременно через все нанесенные точки. В действительности же линия может проходить не через все точки, а лишь через часть из них. Чрезмерно большое удаление какой-либо точки от линии графика обычно является следствием грубой ошибки, допущенной при измерении соответствующего значения. Это измерение следует повторить и заново нанести точку на график. При невозможности повторить измерение явно недостоверный результат не должен приниматься во внимание.

Важнейшими достоинствами графика являются наглядность отображения зависимости между величинами и возможность определения по графику таких значений, которые при построении графика непосредственно не измерялись. Однако использование этих преимуществ графика возможно только при его правильном построении. Поэтому к выполнению графиков, особенно градуировочных, следует относиться с большим вниманием.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ

При выполнении измерений и других работах с радиоэлектронными устройствами необходимо помнить, что в большинстве из них действуют опасные для жизни напряжения электрического тока. Во многих устройствах имеются сильно нагревающиеся детали. Кроме того, при неправильном обращении или ненормальных режимах работы возможно разрушение со взрывом отдельных элементов устройств. Поэтому **при измерениях следует соблюдать все меры предосторожности, чтобы обезопасить себя и окружающих от поражения током, травм и ожогов.**

1. Аппаратура, соединительные проводники и кабели, инструменты и другое необходимое для измерений оборудование должны располагаться на рабочем столе удобно и совершенно устойчиво.

2. До включения радиоэлектронного устройства следует убедиться в соответствии положения переключателя сетевого напряжения его номинальному значению, в исправности плавких предохранителей и соответствии их токов требуемым значениям.

3. Приступая к работе с незнакомым радиоэлектронным устройством, например проверке или ремонту, необходимо прежде всего внимательно изучить его описание, принципиальную и монтажную схемы и определить расположение деталей и проводников, находящихся под высоким напряжением. После включения устройства их нельзя касаться руками или неизолированным инструментом. О включении аппаратуры следует предупредить окружающих.

4. Промышленные измерительные приборы и радиоэлектронные устройства должны эксплуатироваться в соответствии с прилагаемыми к ним техническими описаниями и инструкциями.

5. В некоторых телевизорах устаревших моделей («Воронеж», «Енисей», «Енисей-2», «Знамя», «Знамя-58», «Знамя-58М», «Львів», «Львів-2», «Неман», «Рекорд», «Рекорд-А», «Рекорд-Б», «Рекорд-12», «Старт», «Старт-2») шасси соединено с электрической сетью, что значительно увеличивает опасность работы с ними. После включения таких телевизоров в электросеть нельзя прикасаться к их шасси, деталям и проводникам руками или неизолированным инструментом, заземлять их и соединять с заземленными приборами. Такие же предосторожности необходимо соблюдать и при работе с самодельными устройствами, шасси которых соединены с электрической сетью.

6. При налаживании и проверке радиоэлектронных устройств нельзя присоединять к ним измерительные приборы случайными проводниками. Специально для этой цели должны быть предназначены гибкие проводники с надежной изоляцией, снабженные щупами с длинными изоляционными ручками. При обнаружении повреждения изоляции проводники следует немедленно заменить новыми. Присоединять щуп к обследуемому устройству нужно одной рукой, причем другая не должна касаться устройства, измерительных приборов или иных электропроводящих предметов.

7. Измерение сопротивлений, а также пайку или замену деталей в радиоэлектронных устройствах можно производить только после их выключения, вынув вилку сетевого шнура из электророзетки и выждав некоторое время для того, чтобы разрядились конденсаторы устройства. В телевизорах может длительно сохраняться заряд емкости фильтра высоковольтного выпрямителя, питающего анод кинескопа. После выключения телевизора ее можно разрядить с помощью изолированного проводника, один конец которого присоединяют к шасси, а затем вторым концом касаются вывода анода кинескопа. В качестве проводника для разряда пригоден освобожденный от внешней оболочки и оплетки отрезок коаксиального кабеля, на который поверх изоляции внутренней жилы надета полихлорвиниловая или резиновая трубка.

8. При необходимости настройки или регулировки радиоэлектронных устройств во включенном состоянии (настройка контуров, регулировка подстроечных конденсаторов и резисторов и т. п.) нужно пользоваться инструментом с надежной изоляцией.

9. При подключении измерительных приборов к радиоэлектронным устройствам следует избегать одновременного прикосновения соединительного щупа к двум или более токоведущим проводникам, так как это может вызвать короткое замыкание. Особую осторожность нужно соблюдать при работе с печатным монтажом, для которого характерны малые расстояния между соседними проводниками печатной платы.

10. Во время работы баллоны радиоламп, особенно кенотронов и выходных ламп, сильно нагреваются, и нагрев сохраняется в течение некоторого времени после выключения. При необходимости вынуть лампу из панели следует использовать для защиты рук кусок толстой ткани. До высокой температуры нагреваются также остеклованные проволочные резисторы, имеющиеся в некоторых радиоэлектронных устройствах.

11. При ремонте и налаживании телевизоров недопустимы удары по кинескопу или попадание на него расплавленного припоя, так как это может привести к взрыву кинескопа с разлетом осколков.

12. При работе электрических конденсаторов под напряжением, превышающим рабочее, и протекании через них переменной составляющей пульсирующего тока они заметно нагреваются. Если при измерениях будет установлено, что напряжение на электролитических конденсаторах больше рабочего, или будет обнаружен их нагрев, то, во избежание возможного взрыва, следует выключить радиоустройство, выявить и устранить причину ненормальной работы. Не-

допустимо включение выпрямителей без нагрузки, так как в этом случае напряжение, приложенное к электролитическим конденсаторам, может значительно превысить их номинальное рабочее напряжение, вследствие чего возникнет возможность взрыва.

13 При очевидных признаках аварийного состояния: сильном перегреве трансформаторов питания, появлении дыма или запаха гари, оплавлении изоляции проводников, электрических разрядах (пробоях) в монтаже, искрении внутри баллонов радиоламп или раскаливании их анодов, неоднократном сгорании плавких предохранителей и т. п. — следует немедленно выключить обследуемое радиоэлектронное устройство и только после этого приступать к отысканию и ликвидации причин неисправностей.

14. Электропаяльник должен помещаться на устойчивой подставке из несгораемого материала для исключения возможности его соприкосновения с поверхностью стола или с другими воспламеняющимися предметами. С помощью омметра (авометра) следует периодически проверять электропаяльник на отсутствие замыкания между его корпусом и вилкой сетевого шнура.

15. Ремонтируемые, обследуемые или настраиваемые радиоэлектронные устройства и измерительную аппаратуру нельзя оставлять включенными без надзора и допускать к ним посторонних лиц. По окончании работы необходимо выключить все радиоустройства и измерительную аппаратуру и вынуть вилки сетевых шнуров из электророзеток.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА, НАПРЯЖЕНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЯ

ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА, НАПРЯЖЕНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЯ

Электроизмерительные приборы. В радиолюбительской практике используются, преимущественно, стрелочные щитовые приборы с измерительным механизмом магнитоэлектрической системы, обладающие высокой чувствительностью, точностью, надежностью и износоустойчивостью. Приборы снабжены шкалой с делениями и числовыми отметками и стрелкой для отсчета показаний. Разность значений измеряемой величины между двумя соседними делениями называется ценой деления. Например, микроамперметр со шкалой 0—200 мкА и 40 делениями имеет цену деления 5 мкА/деление. Приборы характеризуются чувствительностью, выражающейся числом делений, на которое перемещается стрелка, к вызвавшему это перемещение изменению измеряемой величины. В рассмотренном выше примере чувствительность равна 0,2 деления/мкА. Вообще, чувствительность — величина, обратная цене деления.

Важнейшими параметрами прибора являются ток полного отклонения, вызывающий отклонение стрелки до конца шкалы, и внутреннее сопротивление, иногда указываемое на шкале. Эти параметры приборов приводятся в справочной литературе, а также могут быть определены экспериментально. Широкое применение в радиолюбительских конструкциях получили стрелочные приборы типа М20, М24, М261М, М265, М494, М592 и др.

Измерение тока. Для измерения постоянного тока служат микроамперметры, миллиамперметры и амперметры, включаемые в цепь измеряемого тока последовательно. Их сопротивление должно быть значительно меньше сопротивления этой цепи, чтобы не изменять ее электрический режим.

При измерении малых токов (рис. 1,*а*) стрелочный прибор *ИП1* включается в цепь непосредственно. Для увеличения верхнего предела измерения (рис. 1,*б*) в цепь включается шунт — резистор *R1*, а параллельно ему — прибор *ИП1*. Сопротивление шунта рассчитывается по формуле

$$R1 = R_и \frac{I_и}{I - I_и}, \qquad (4)$$

где *R1* — сопротивление шунта; $R_и$ — внутреннее сопротивление измерительного прибора *ИП1*; $I_и$ — ток его полного отклонения; *I* — верхний предел измерения тока.

Шунты обычно изготовляются из манганинового или константанового провода, диаметр которого должен быть не менее

$$d = 0{,}9\sqrt{I - I_{и}}, \quad (5)$$

где d — диаметр провода, мм; I — верхний предел измерения тока; $I_{и}$ — ток полного отклонения прибора А.

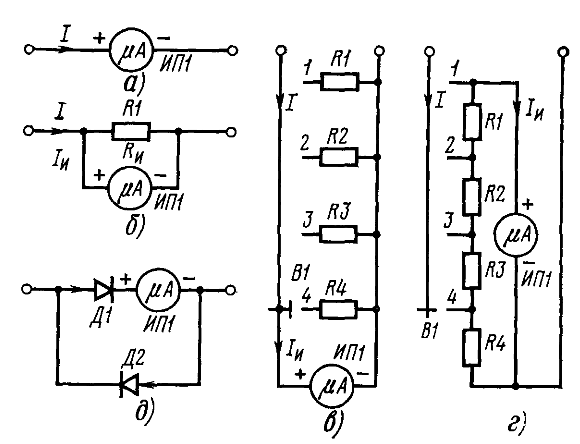


Рис. 1. Измерение тока: *а* — непосредственное; *б* — с шунтом; *в* — с безобрывным переключением шунтов; *г* — с универсальным шунтом; *д* — переменного тока

Для получения нескольких пределов измерения тока (рис. 1,*в*) можно применить набор шунтов, поочередно присоединяемых параллельно прибору *ИП1* специальным переключателем *В1* без обрыва измерительной цепи. Коммутацию пределов обычным переключателем можно производить только после отключения прибора во избежание его перегрузки в момент отсоединения шунта. От этого недостатка свободен универсальный шунт (рис. 1,*г*), представляющий собой цепочку резисторов, которая постоянно присоединена к прибору *ИП1*. В момент переключения пределов разрывается не цепь шунта, а цепь измеряемого тока, что безопасно для прибора *ИП1*. Поэтому универсальные шунты широко применяются как в промышленных, так и в самодельных приборах.

Для измерения переменного тока (рис. 1,*д*) его предварительно выпрямляют полупроводниковым диодом *Д1*, пропускающим через измерительный прибор *ИП1* только положительную волну тока. Отрицательная волна протекает через диод *Д2*, который предохраняет диод *Д1* от пробоя обратным напряжением. Из-за нелинейности вольт-амперных характеристик полупроводниковых диодов шкала прибора *ИП1* на переменном токе неравномерна. Расширение пределов измерения осуществляется с помощью шунтов так же, как и на постоянном токе.

Измерение напряжения. Для измерения напряжения на участке цепи служат присоединяемые параллельно ему милливольтметры, вольтметры или киловольтметры. Во избежание изменения режима цепи ответвляющийся в вольтметр ток должен быть малым, т. е. сопротивление вольтметра должно быть велико по сравнению с сопротивлением участка цепи, к которому он присоединен. Это требование выполняется, если вольтметр состоит из микроамперметра *ИП1* (рис. 2,*а*) со шкалой, проградуированной в единицах напряжения, и включенного последовательно с ним добавочного резистора *R1*. Его сопротивление рассчитывается по формуле

$$R1 = \frac{U}{I_{и}} - R_{и}, \quad (6)$$

где $R1$ — сопротивление добавочного резистора; U — верхний предел измеряемого напряжения; $I_{и}$ — ток полного отклонения измерительного прибора *ИП1*; $R_{и}$ — его внутреннее сопротивление.

В радиолюбительской аппаратуре обычно используют непроволочные добавочные резисторы, особенно на высоковольтных пределах измерения. При выборе резисторов необходимо учитывать рассеиваемую на них мощность, а также приложенное к ним напряжение, которые не должны превышать максимально допустимых значений. Поэтому на высоковольтных пределах часто приходится соединять последовательно несколько резисторов.

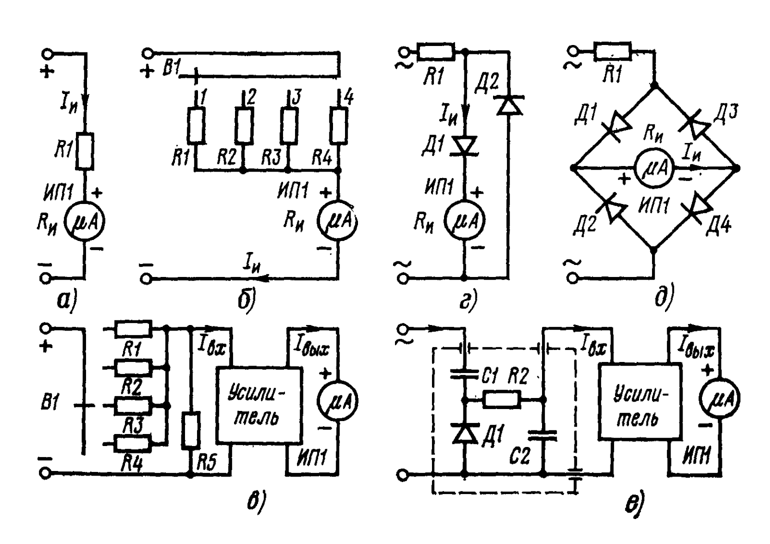


Рис. 2. Измерение напряжения:
а — с добавочным резистором; *б* — с переключением добавочных резисторов; *в* — с усилителем тока; *г* — переменного напряжения с выпрямителем по однополупериодной схеме; *д* — то же, по мостовой схеме; *е* — с детекторной головкой-пробником и усилителем тока

Многопредельный вольтметр (рис. 2,*б*) содержит несколько добавочных резисторов, присоединяемых к прибору *ИП1* переключателем пределов измерения *B1*. В практических конструкциях он часто заменяется несколькими гнездами.

Для уменьшения погрешности измерения сопротивление вольтметра должно быть, по крайней мере, в 20—50 раз больше сопротивления участка цепи, на котором измеряется напряжение. В большинстве случаев вольтметры характеризуют входным сопротивлением, которое рассчитывают на 1 В шкалы и выражают в килоомах на вольт (кОм/В). Это позволяет сопоставлять входные сопротивления вольтметров, имеющих различные пределы измерения. Входное сопротивление вольтметров по схемам рис. 2,*а* и *б* равно

$$R_{\text{вх}} = 1/I_{\text{и}}. \quad (7)$$

Повысить его можно применением измерительного прибора с малым током полного отклонения $I_{\text{и}}$, что не всегда возможно, или введением усилителя тока (электронный вольтметр). Вольтметр с усилителем (рис. 2,*в*) нагружает объект измерения входным током усилителя $I_{\text{вх}} \ll I_{\text{и}}$, благодаря чему входное сопротивление значительно возрастает.

Для измерения переменного напряжения его предварительно выпрямляют с помощью полупроводниковых диодов, а затем подают на измерительный прибор *ИП1* (рис. 2,*г*). Добавочный резистор вольтметра рассчитывают по формуле

$$R1 = \frac{U}{2{,}22 I_{\text{и}}} - R_{\text{и}}, \quad (8)$$

где *R1* — сопротивление добавочного резистора; *U* — верхний предел измеряемого переменного напряжения; $I_{\text{и}}$ — ток полного отклонения измерительного

прибора *ИП1*; $R_и$ — его внутреннее сопротивление. В вольтметре с выпрямительным мостом (рис. 2,*д*) сопротивление добавочного резистора

$$R1 = \frac{U}{1,11 I_и} - R_и. \qquad (9)$$

Формулы (8) и (9) приближенные, поэтому сопротивления добавочных резисторов окончательно подбирают при налаживании вольтметров. Шкалы переменных напряжений неравномерны.

Полупроводниковые выпрямители удовлетворительно работают при переменных напряжениях, превышающих несколько десятых долей вольта. Поэтому для измерения малых переменных напряжений применяется их усиление, в результате чего существенно возрастает чувствительность, а также входное сопротивление вольтметра (милливольтметра).

Для измерения высокочастотных напряжений электронный вольтметр или милливольтметр снабжается выносной головкой-пробником, обычно собранной по схеме диодного детектора с закрытым входом (рис. 2,*е*). Благодаря малой входной емкости детектора, присоединяемого непосредственно к объекту измерения, уменьшается влияние пробника на объект, в частности, расстройка его резонансных цепей.

Измерение сопротивлений. Сопротивление резисторов и других проводников (обмоток трансформаторов, катушек и т. п.) обычно измеряют с помощью омметров. Схема омметра для измерения больших сопротивлений (рис. 3,*а*) состоит из последовательно соединенных источника тока *Б1*, измеряемого сопротивления R_x, добавочного резистора *R1* и измерительного прибора *ИП1* с регулируемым шунтом *R2*. Перед измерением, закоротив зажимы *1*, *2*, устанавливают шунтом *R2* наибольшее отклонение стрелки прибора, соответствующее нулю шкалы омметра. Затем зажимы *1*, *2* разъединяют и подключают к ним измеряемое сопротивление R_x. Его значение отсчитывают по шкале прибора *ИП1*, проградуированной в единицах сопротивления.

Для измерения малых сопротивлений предпочтительнее омметр по схеме рис. 3,*б*, в котором переменным резистором *R1* устанавливают максимальное отклонение стрелки прибора *ИП1*, соответствующее ∞ шкалы омметра. После этого к зажимам *1*, *2* присоединяют измеряемое сопротивление R_x, значение которого отсчитывают по шкале прибора, проградуированной в единицах сопротивления.

Рис. 3. Измерение сопротивления:
а — омметром по последовательной схеме; *б* — то же, по параллельной схеме; *в* — методом моста

Обе схемы могут сочетаться в одном омметре путем соответствующих переключений. Как правило, омметры выполняют многопредельными, для чего в их схемы вводится несколько переключаемых шунтов и добавочных резисторов. Шкалы омметров неравномерны, а погрешности измерения могут достигать 10%. Несмотря на это, их широко применяют, особенно в качестве составной части комбинированных приборов — авометров (ампервольтметров).

Более точные результаты получают при измерении сопротивлений мостовым методом. Схема однопредельного измерительного моста (рис. 3,*в*) содержит измеряемое сопротивление R_x, образующее плечо измерения, градуированный переменный резистор или магазин сопротивлений *R1* — плечо сравнения и известные сопротивления постоянных резистора *R2* и *R3* — плечи отношения. На одну из диагоналей моста подается напряжение питания от источника *Б1*, а

в другую включен индикатор равновесия моста — измерительный прибор *ИП1* с нулем посредине шкалы.

Процесс измерения заключается в уравновешивании моста (установке нулевых показаний прибора) изменением сопротивления резистора *R1*. Сначала производится грубое уравновешивание при замыкании кнопки *Кн2*, а затем точное — при замыкании кнопки *Кн1*. При таком порядке измерений ограничительный резистор *R4* предохраняет прибор *ИП1* от перегрузки большими токами в начальной стадии уравновешивания. После окончательного уравновешивания моста отсчитывают значение введенного в плечо сравнения сопротивления резистора *R1* и находят значение измеряемого сопротивления по формуле

$$R_x = R_1 \frac{R_2}{R_3}, \qquad (10)$$

где R_1, R_2, R_3 — соответственно сопротивления резисторов *R1*, *R2*, *R3*.

Для расширения пределов измерения сопротивлений практические схемы мостов содержат несколько переключаемых постоянных резисторов, причем отношения их сопротивлений $R_2 : R_3$ выбираются равными ... 0,1; 1; 10 ..., что облегчает расчеты по формуле (10).

В некоторых конструкциях измерительных мостов плечо сравнения образуется постоянным резистором, а плечи отношения — участками переменного резистора. Уравновешивание такого моста производится регулировкой переменного резистора, при которой изменяется отношение сопротивлений его участков. Результат измерения также определяется по формуле (10).

Возможно питание измерительного моста переменным током с использованием в качестве индикатора головных телефонов. Для более точной индикации равновесия по минимуму звука желательно питание такого моста от генератора частотой, близкой к 1000 Гц, при которой слух наиболее чувствителен.

АВОМЕТР

Авометр позволяет измерять постоянный ток в пределах 0—3—30 мА, напряжение постоянного тока в пределах 0—9—30—90—300 В, напряжение переменного тока частотой 50—20 000 Гц в пределах 0—9—300 В, сопротивление постоянному току в пределах 10—1000 Ом и 0,1—100 кОм. Входное сопротивление авометра при измерении постоянных напряжений 1,9 кОм/В, переменных напряжений 0,85 кОм/В. Авометр питается от одного элемента типа 332, потребление тока при измерении сопротивлений не более 0,6 мА. Габаритные размеры авометра 130×70×50 мм, масса 400 г.

Принципиальная схема авометра приведена на рис. 4. Микроамперметр *ИП1* совместно с резисторами *R9—R11* универсального шунта образует схему измерения постоянного тока. Авометр включают в цепь измеряемого тока двумя проводниками со щупами, один из которых с помощью однополюсной вилки постоянно присоединен к гнезду *Гн10*, а другой — к гнезду *Гн1* при измерении токов до 3 мА или к *Гн2* — до 30 мА. Универсальный шунт остается включенным параллельно микроамперметру *ИП1* и при других видах измерений, однако это лишь незначительно уменьшает чувствительность прибора, так как сопротивление шунта гораздо больше сопротивления микроамперметра.

Напряжение постоянного тока измеряют с одним из добавочных резисторов *R3—R6*, в зависимости от предела измерений. Для этого вилку щупа включают соответственно в одно из гнезд *Гн5—Гн8*.

Напряжение переменного тока измеряют с добавочными резисторами *R1* или *R2* и выпрямительными диодами *Д1*, *Д2* при замкнутом выключателе *В1*. В зависимости от предела измерений вилку щупа включают в гнездо *Гн3* или *Гн4*.

Измерение сопротивления в пределах 0,1—100 кОм производится с помощью последовательной цепи, образованной элементом *Б1*, микроамперметром *ИП1*, измеряемым сопротивлением R_x, присоединенным к щупам, вилки которых включены в гнезда *Гн10*, *Гн11*, постоянным резистором *R7* и переменным резистором *R8*. Последний служит для установки перед измерением нуля шкалы килоом — максимального отклонения стрелки микроампер-

метра *ИП1* при соединенных между собой щупах. Таким образом, шкала килоом обратна по отношению к другим шкалам: ее нуль совпадает с конечными отметками шкал тока и напряжения.

Для измерения сопротивления в пределах 10—1000 Ом его подключают с помощью щупов между гнездом *Гн9* и соединенными между собой гнездами *Гн10, Гн11*. При этом показания микроамперметра *ИП1* зависят от значения шунтирующего его измеряемого сопротивления R_x, а нуль шкалы ом совпадает с нулем шкал тока и напряжения.

Детали. В авометре установлен микроамперметр *ИП1* с током полного отклонения 500 мкА и внутренним сопротивлением 350 Ом. Можно использовать микроамперметры с меньшим током полного отклонения, увеличив, в соответствии с формулами (6) и (8), сопротивления добавочных резисторов *R1—R6*. Диоды *Д1, Д2* типа Д9Г можно заменить точечными германиевыми диодами других типов.

Резисторы *R1—R6* могут быть типов ВС-0,25 или МЛТ-0,5, причем каждый из них составлен из двух резисторов, соединенных последовательно. Окончательный подбор этих резисторов производится при налаживании авометра, поэтому они могут иметь допуск 5 или даже 10%. Желательно использовать резисторы, хранившиеся без употребления год или более. Сопротивление таких состарившихся резисторов стабильнее, чем новых. Переменный резистор *R8* с выключателем *В1* типа СПЗ-4в можно заменить малогабаритными переменными резисторами других типов, снабженными выключателями.

Резисторы *R9—R11* универсального шунта наматывают манганиновым или константановым проводом на каркасе из любого изоляционного материала. Диаметр провода резистора *R9* не менее 0,15 мм, а *R10, R11* могут быть из более тонкого провода. Первоначальные сопротивления резисторов *R9, R10* должны быть на 5—10% больше указанных на схеме рис. 4. Окончательная подгонка этих резисторов производится уменьшением длины провода при налаживании авометра.

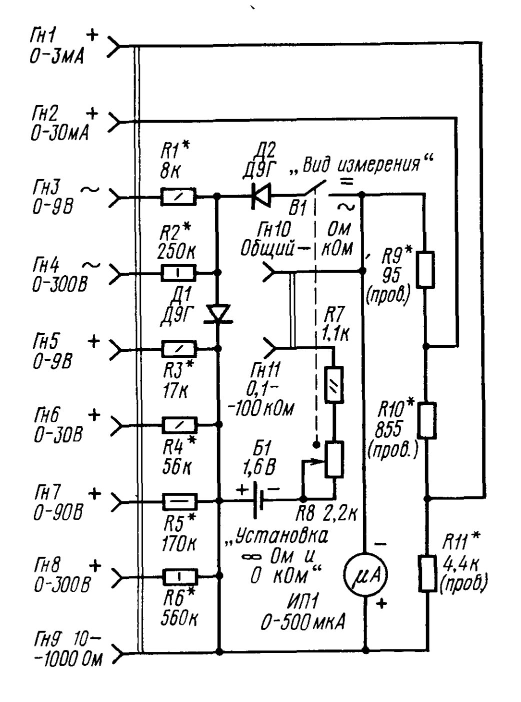


Рис. 4. Принципиальная схема авометра

Элемент *Б1* типа 332 имеет при комнатной температуре ЭДС, равную 1,55 В≈1,6 В. При малых токах нагрузки напряжение элемента также приближенно равно 1,6 В, что и указано на схеме авометра. (Заметим, во избежание недоразумений, что в некоторых из описанных ниже приборах, потребляющих ток более 5—8 мА, напряжение элемента типа 332 уменьшается приблизительно до 1,5 В, и это значение приведено на их схемах.)

В качестве гнезд *Гн1—Гн8* использована восьмигнездная ламповая панель, в центральное отверстие которой вставлено гнездо *Гн9* — от антенного входа телевизора. Можно применить девятигнездную ламповую панель. Гнезда *Гн10, Гн11* — обычные.

Щупы и соединительные проводники, которыми авометр подключают к объектам измерения, должны иметь хорошую изоляцию. Удобные и надежные щупы можно сделать из пластмассовых цанговых карандашей. В цанговый зажим вставляют металлический стержень, который выдвигают на требуемую длину. На его конец, в случае необходимости, можно насаживать зажим «кро-

кодил». Гибкие соединительные проводники длиной около 1 м в полихлорвиниловой изоляции пропускают сквозь отверстие в торце карандаша.

Конструкция и монтаж. Авометр смонтирован в пластмассовом корпусе размерами 130×70×38 мм, состоящем из двух разъемных частей. Верхняя крышка корпуса является лицевой панелью авометра (рис. 5). На ней укреплены микроамперметр *ИП1*, переменный резистор *R8* с выключателем *В1*, гнезда *Гн1—Гн9* и *Гн10*, *Гн11*. Надписи, указывающие пределы измерения и соответствующие им гнезда, выполнены на плотной бумаге, которая прижата к панели наличником из тонкого оргстекла.

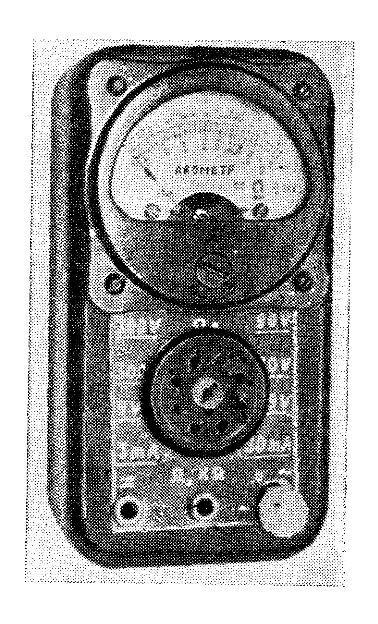


Рис. 5. Внешний вид авометра

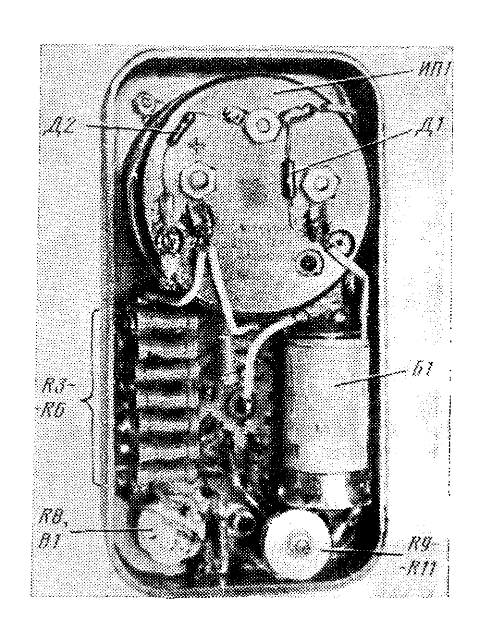


Рис. 6. Монтаж авометра

Бо́льшая часть деталей авометра смонтирована на гетинаксовой плате размерами 64×64×2 мм (рис. 6). На ней установлены переменный резистор *R8* с выключателем *В1*, держатель элемента *Б1*, универсальный шунт *R9—R11* и приклепаны лепестки, на которых распаяны резисторы *R1—R6*. Диоды *Д1*, *Д2* припаяны к лепесткам, привинченным к основанию микроамперметра *ИП1*.

Налаживание и градуировку авометра лучше всего производить с помощью лабораторных миллиамперметра и вольтметра класса точности 0,5 или 1,0. В любительских условиях можно использовать в качестве образцового прибора заведомо исправный авометр промышленного изготовления, например, типов Ц20, Ц435, ТЛ-4М и т. п. Для градуировки необходимы также источники постоянного и переменного тока, несколько переменных резисторов, магазин сопротивлений, например, типов Р33, КМС-6 и т. п. или набор постоянных резисторов различных номиналов, с допуском 5%.

Налаживание начинают с установки пределов измерения тока. Для этого собирают вспомогательное устройство по схеме рис. 7,*а*, в котором *Б1* — две батареи типа 3336Л, соединенные последовательно, *ИП1* — налаживаемый авометр, *ИП2* — образцовый прибор. Переменный резистор *R1* в устройстве по схеме рис. 7,*а* устанавливают на максимальное сопротивление, *ИП1* включают на предел измерения тока 30 мА, *ИП2* — на равный или ближайший больший предел. Плавно уменьшая сопротивление резистора *R1*, устанавливают по образцовому прибору *ИП2* ток 30 мА, при этом стрелка *ИП1* должна уйти за пределы шкалы. Постепенно отматывая провод с резистора *R9* (см. рис. 4),

приводят стрелку *ИП1* на последнее деление шкалы. При этом может потребоваться подрегулировка тока 30 мА по прибору *ИП2* небольшим изменением сопротивления резистора *R1* в устройстве по схеме рис. 7,*а*. Затем увеличивают сопротивление резистора *R1* до максимального и переключают *ИП1* на предел 3 мА, а *ИП2* — на равный или ближайший больший предел. Плавным

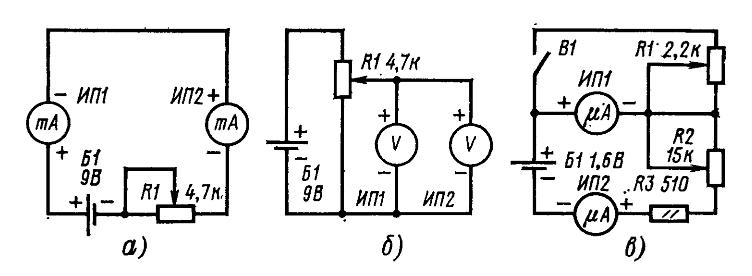


Рис. 7. Вспомогательные устройства:
а — для градуировки авометра по току; *б* — то же, по напряжению; *в* — для измерения параметров микроамперметра

уменьшением сопротивления резистора *R1* в устройстве по схеме рис. 7,*а* устанавливают по прибору *ИП2*, ток 3 мА и, отматывая провод с резистора *R10*, приводят стрелку *ИП1* на последнее деление шкалы. После этого необходимо вновь проверить установку предела 30 мА, как описано выше, и, если она изменилась, уточнить ее уменьшением сопротивления резистора *R9* (см. рис. 4). Во избежание повреждения авометра *ИП1*, следует отключать его на время отматывания провода с резисторов *R9*, *R10* и снова присоединять только после припайки провода.

Для установки пределов измерения напряжения постоянного тока собирают вспомогательное устройство по схеме рис. 7,*б*. Включив *ИП1* на предел 9 В, а *ИП2* — на равный или ближайший больший предел, переменным резистором *R1* устройства по рис. 7.*б* устанавливают по прибору *ИП2* напряжение 9 В и подбором добавочного резистора *R3* (см. рис. 4) добиваются отклонения стрелки *ИП1* до последнего деления шкалы. Резистор *R3* (как и *R4*—*R6*) составлен из двух резисторов, например, 15 и 1,8 кОм, и предел измерения 9 В устанавливают подбором резистора меньшего сопротивления из номиналов ... 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,4; ... кОм. Если подбираемый резистор присоединяют пайкой, то нужно выждать до его полного охлаждения и лишь после этого производить измерения, так как сопротивление непроволочных резисторов зависит от температуры.

Аналогично устанавливают остальные пределы измерения постоянного напряжения. Отличие заключается в том, что во вспомогательном устройстве по рис. 7,*б* батарею *Б1* заменяют выпрямителем и включают переменный резистор *R1* сопротивлением около 500 кОм. Поскольку шкалы постоянного тока и напряжения совершенно линейны, градуировка авометра для этих видов измерения сводится к делению дуги шкалы на равные части, что легко сделать с помощью циркуля.

Несколько сложнее обстоит дело при градуировке шкал переменного напряжения, которые неравномерны. Для градуировки собирают устройство по схеме, подобной изображенной на рис. 7.*б*, но с питанием от трансформатора или автотрансформатора. Сначала устанавливают верхний предел 300 В по образцовому прибору и подбирают добавочный резистор *R2* (см. рис. 4) в градуируемом авометре до отклонения его стрелки на всю шкалу. После этого переменным резистором вспомогательного устройства уменьшают напряжение и через каждые 10 В наносят на шкалу авометра отметки, соответствующие напряжениям 290, 280 В и т. д. При этом получается шкала переменного напряжения, значительная часть которой совпадает со шкалой постоянного напряжения. Предел 9 В переменного напряжения устанавливают подбором сопротивления резистора *R1* (см. рис. 4). Числовые отметки 0, 3, 6 и 9 В проставляют соответственно под числами 0, 100, 200 и 300 В предыдущей шкалы.

Проградуировать шкалы омметра проще всего с помощью магазина сопротивлений. Замкнув между собой щупы, включенные в гнезда *Гн10*, *Гн11*, переменным резистором *R8* авометра устанавливают его стрелку на крайнее правое деление шкалы — нуль шкалы 0,1—100 кОм. Разомкнув щупы, присоединяют их к магазину и, устанавливая на нем сопротивления 0,1; 0,2; ...; 1 кОм, наносят отметки на участке шкалы 0,1—1 кОм. Затем градуируют участок шкалы 1—10 кОм через каждые 1 кОм и, наконец, участок 10—100 кОм через каждые 100 кОм. После градуировки делают на шкале соответствующие надписи, которые для сокращения занимаемого ими места лучше располагать в радиальных направлениях. Аналогично градуируют и шкалу 10—1000 Ом, нуль которой совпадает с нулем шкал тока и напряжений.

При отсутствии магазина сопротивлений используют в качестве образцовых постоянные резисторы с допуском 5%. Для получения необходимых сопротивлений в ряде случаев потребуется последовательное соединение двух или трех резисторов. Например, сопротивление 600 Ом может быть получено при последовательном соединении резисторов сопротивлением 470 и 130 Ом, 360 и 240 Ом, 510 и 91 Ом или 560 и 39 Ом.

Шкалы сопротивлений можно проградуировать также с помощью образцового омметра (авометра) и переменных или подстроечных резисторов. Для этого устанавливают по образцовому омметру определенное значение сопротивления присоединенного к нему переменного резистора. Затем, не изменяя сопротивления, присоединяют переменный резистор к градуируемому авометру и наносят на его шкалу соответствующую отметку. Таким же способом получают ряд отметок шкалы при различных значениях сопротивления переменного резистора.

Возможные усовершенствования. Для увеличения входного сопротивления авометра при измерении напряжений целесообразно применить в нем более чувствительный микроамперметр. В зависимости от имеющейся в нем шкалы соответственно могут быть изменены и пределы измерения, с пересчетом сопротивлений добавочных резисторов по формулам (6) и (8). Необходимые для расчетов параметры микроамперметра не всегда бывают известны, тем более, что в распоряжении радиолюбителей часто оказываются стрелочные приборы от различной аппаратуры, шкалы которых могут быть проградуированы не в единицах тока, а других электрических величин. Измерить ток полного отклонения прибора в пределах 100—1000 мкА и внутреннее сопротивление в пределах 200—2000 Ом можно с помощью вспомогательного устройства по схеме рис. 7,*в*, в котором *ИП1* — проверяемый прибор, а *ИП2* — образцовый микроамперметр, в качестве которого можно использовать авометр промышленного изготовления.

Разомкнув выключатель *В1*, переменным резистором *R2* устанавливают стрелку прибора *ИП1* на последнее деление шкалы и отсчитывают его ток полного отклонения по включенному последовательно с ним микроамперметру *ИП2*. Затем замыкают выключатель *В1* и, поддерживая с помощью переменного резистора *R2* неизменные показания микроамперметра *ИП2*, устанавливают стрелку прибора *ИП1* на середину его шкалы переменным резистором *R1*. При этом внутреннее сопротивление прибора *ИП1* равно введенному сопротивлению переменного резистора *R1*, которое может быть измерено омметром (авометром).

В радиолюбительской практике переменные напряжения измеряют относительно редко. Поэтому в описываемом авометре имеются лишь два предела: 0—9 В — для измерения напряжения накала радиоламп и 0—300 В — для измерения напряжений электросети и анодных обмоток трансформаторов питания радиоэлектронных устройств. Целесообразно добавить еще предел 0—3 В — для измерения переменных напряжений звуковой частоты на выходе радиоприемников и усилителей.

ВОЛЬТОММЕТР

Вольтомметр предназначен для измерения постоянных напряжений в пределах 0—0,5—1—5—10—50—100—500 В, измерения напряжений высокой частоты 0,1—150 МГц в пределах 0—1 В, индикации напряжений высокой частоты

в пределах 0—200 В и измерения сопротивления постоянному току в пределах 5—2000 кОм. Входное сопротивление прибора при измерении постоянных напряжений 60 кОм/В, при измерении и индикации напряжений высокой частоты 20 кОм/В, входная емкость 5 пФ. Вольтомметр питается от одного элемента типа 332, потребляемый ток 4 мА. Габаритные размеры вольтомметра 130×70×50 мм, масса 400 г.

Принципиальная схема вольтомметра приведена на рис. 8. Основными элементами схемы (рис. 8,*а*) являются добавочные резисторы омметра *R1*, *R2*, добавочные резисторы вольтметра *R3*—*R9*, усилитель постоянного тока на транзисторе *Т1*, миллиамперметр *ИП1* с нелинейным шунтом *Д2R12* и источник питания *Б1* со стабилизатором напряжения *Д3R15*.

Измеряемое напряжение постоянного тока в отрицательной полярности прикладывается между одним из гнезд *Гн2*—*Гн8* и гнездом *Гн10*. В зависимости от предела измерения используется один из добавочных резисторов *R3*—*R9*, соединенных через резистор *R10* с базой транзистора *Т1*, в цепь коллектора которого включен миллиамперметр *ИП1*. Диод *Д1* защищает эмиттерный переход транзистора *Т1* от возможного пробоя обратным напряжением в случае ошибочной перемены полярности измеряемого напряжения.

Конденсатор *С1*, блокирующий эмиттерный переход транзистора *Т1*, уменьшает нежелательное влияние переменной составляющей входного напряжения, которая может поступать от объекта измерения или возникать вследствие наводок на входные цепи вольтомметра. Резистор *R11* в цепи эмиттера транзистора *Т1* создает отрицательную обратную связь, уменьшающую усиление и стабилизирующую параметры вольтомметра. Подбором сопротивления этого резистора устанавливается необходимое значение коэффициента усиления тока (около 60) усилителя.

Рис. 8. Принципиальная схема вольтомметра (напряжение измерено относительно положительного полюса источника питания):
а — вольтомметр; *б* — высокочастотный щуп-пробник

Измерение эффективных значений высокочастотных синусоидальных напряжений осуществляется с помощью щупа-пробника (рис. 8,*б*), представляющего собой детектор с закрытым входом на диодах *Д4*, *Д5*, которые соединены последовательно для увеличения максимально допустимого входного напряжения. Для измерений на пределе 0—1 В щуп-пробник соединяется с гнездами *Гн9*, *Гн10* вольтомметра. Если же подключить его к одному из гнезд *Гн3*—*Гн8* и гнезду *Гн10*, то прибор может работать в качестве индикатора высокочастотных напряжений до 200 В.

Из-за нелинейности характеристик транзистора *Т1* зависимость его коллекторного тока от напряжения, приложенного ко входу вольтомметра, также нелинейна (рис. *9*, кривая *1*). При непосредственном измерении тока коллектора показания миллиамперметра *ИП1* были бы непропорциональны измеряемому напряжению, т. е. шкала прибора оказалась бы нелинейной. Для получения линейного начального участка шкалы на базу транзистора *Т1* подается через

объект измерения начальное смещение с делителя напряжения *R13*, *R14*, благодаря чему кривая зависимости тока миллиамперметра от входного напряжения смещается влево. Подбором напряжения смещения можно добиться, чтобы она проходила через начало координат (рис. 9, кривая *2*).

Улучшение линейности конечного участка шкалы достигается с помощью нелинейного шунта — цепи *Д2*, *R12*. Как известно, прямое сопротивление полупроводникового диода уменьшается при возрастании приложенного к нему напряжения. При увеличении тока коллектора напряжение на миллиамперметре *ИП1* и цепи *Д2*, *R12* повышается, ее сопротивление уменьшается, и шунтирующее действие возрастает. Чем больше измеряемое напряжение, тем бо́льшая доля коллекторного тока протекает через нелинейный шунт, вследствие чего отклонение стрелки миллиамперметра уменьшается. Подбором сопротивления резистора *R12* можно добиться пропорциональности показаний прибора входному напряжению (рис. 9, кривая *3*), т. е. линейности его шкалы.

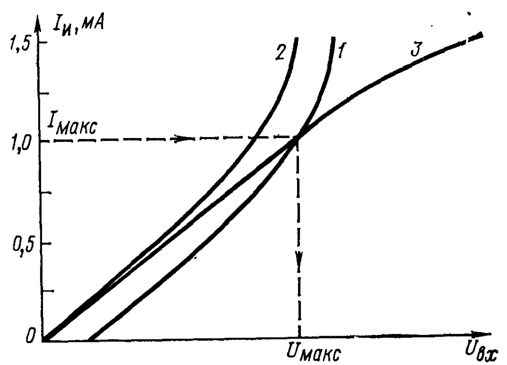


Рис. 9. Зависимость тока стрелочного измерительного прибора вольтомметра $I_и$ от входного напряжения $U_{вх}$:
1 — без коррекции; *2* — с начальным смещением; *3* — с начальным смещением и нелинейным шунтом

Для сохранения точности вольтомметра в процессе его эксплуатации напряжение питания усилителя стабилизируется цепью *Д3*, *R15*. Соответствующим выбором типа стабилитрона *Д3*, включенного в прямом направлении, и сопротивления резистора *R15* обеспечивается стабилизация напряжения питания усилителя при разряде элемента *Б1* до напряжения 1,2 В (рис. 10,*а*) и изменении тока нагрузки стабилизатора от 0,5 до 2 мА (рис. 10,*б*). Стабилизация позволяет обойтись без контроля и регулировки напряжения питания усилителя и делает ненужной установку нуля шкалы вольтметра перед измерениями, что упрощает эксплуатацию прибора.

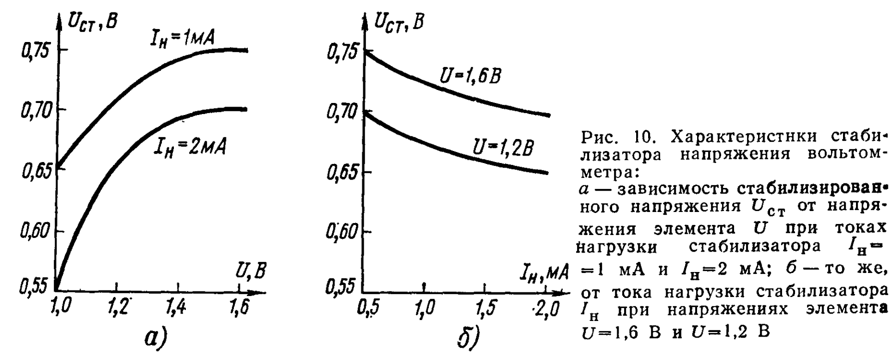


Рис. 10. Характеристики стабилизатора напряжения вольтомметра:
а — зависимость стабилизированного напряжения $U_{ст}$ от напряжения элемента *U* при токах нагрузки стабилизатора $I_н$=1 мА и $I_н$=2 мА; *б* — то же, от тока нагрузки стабилизатора $I_н$ при напряжениях элемента *U*=1,6 В и *U*=1,2 В

Измерительная цепь о м м е т р а образуется элементом *Б1*, добавочными резисторами *R1*, *R2*, измеряемым сопротивлением R_x, которое присоединяется к гнездам *Гн1* и *Гн9*, резистором *R10*, эмиттерным переходом транзистора *Т1* и резистором *R11*. Ток этой цепи, зависящий от измеряемого сопротивления, протекает через эмиттерный переход транзистора *Т1* и управляет его коллекторным током. Последний измеряется миллиамперметром *ИП1*, одна из шкал которого проградуирована в единицах сопротивления (килоомах).

для увеличения верхнего предела измерения сопротивлений цепь омметра питается непосредственно от элемента *Б1*, т. е. нестабилизированным напряжением. Поэтому предусмотрена установка нуля шкалы омметра перед измерением сопротивлений, которая осуществляется с помощью переменного резистора *R2* при соединенных между собой гнездах *Гн1* и *Гн9*.

Детали. Транзистор *Т1* типа П423 можно заменить на П416, П416А или П416Б. Несколько необычный выбор типов транзисторов для усилителя постоянного тока обусловлен тем, что они при малом напряжении на коллекторе обладают большим статическим коэффициентом передачи тока. Его значение $h_{21Э}=100\div120$ не должно самопроизвольно изменяться при длительном включении транзистора.

Диод *Д1* типа Д9Г может быть заменен диодами типов Д9Б—Д9Е. Диод *Д2* имеет высокую крутизну вольт-амперной характеристики при прямых напряжениях свыше 0,3 В, что необходимо для эффективной работы нелинейного шунта. Заменить его можно диодами типов Д9Г и Д9Е. Стабилитрон *Д3* типа Д811 можно заменить селеновым стабилизирующим диодом типа 7ГЕ1А—С или кремниевым стабистором типа Д223С. В высокочастотном щупе-пробнике установлены диоды *Д4*, *Д5* типа Д2Ж с большим допустимым обратным напряжением. Вместо них можно применить три диода типа Д2Е или Д2И.

В вольтомметре используется миллиамперметр *ИП1* типа М20 с током полного отклонения 1 мА и внутренним сопротивлением 350 Ом. Можно применить другие стрелочные приборы равной или большой чувствительности. В последнем случае потребуется увеличить сопротивления добавочных резисторов *R3—R9*. Каждый из добавочных резисторов *R3—R6* составлен из двух резисторов типа ВС-0,125 или УЛМ-0,12, соединенных последовательно; *R7*, *R8* — из двух резисторов типа МЛТ-0,5, а *R9* — из пяти резисторов МЛТ-0,5 5,1 МОм±±5% и одного резистора МЛТ-0,5 4,7 МОм±5%. Остальные постоянные резисторы типа УЛМ-0,12 или ВС-0,125. Переменный резистор *R2*, спаренный с выключателем *В1*, может иметь максимальное сопротивление от 22 до 68 кОм. Конденсатор *С1* типа МБМ или БМ; *С2* типа КТК или КСО.

В качестве гнезд *Гн1—Гн8* используется восьмигнездная ламповая панель, желательно керамическая, гнезда *Гн9*, *Гн10* обычные. Элемент *Б1* типа 332.

Конструкция и монтаж. Вольтомметр смонтирован в пластмассовом корпусе размерами 130×70×38 мм, крышка которого служит лицевой панелью прибора (рис. 11). К ней прикреплены миллиамперметр *ИП1*, переменный резистор *R2* с выключателем *В1*, панель с гнездами *Гн1—Гн8* и гнезда *Гн9*, *Гн10*. Необходимые надписи сделаны на плотной бумаге, прижатой к панели наличником из тонкого оргстекла.

Электрический монтаж (рис. 12) выполнен на двух гетинаксовых платах. Часть мелких деталей размещена на основной плате размерами 64×64×2 мм, привинченной изнутри к панели прибора. Добавочные резисторы *R3—R9* распаяны на отдельной плате размерами 70×26×2 мм, которая установлена перпендикулярно основной плате. Транзистор *Т1*, диод *Д2* и резистор *R12* распаяны на лепестках, привинченных к основанию корпуса миллиамперметра *ИП1*.

Электрические соединения выполнены проводниками в полихлорвиниловой изоляции. Пайка должна производиться с применением твердой канифоли. Использование жидких флюсов не рекомендуется, так как они, растекаясь по поверхности изоляции, могут существенно увеличить утечки, что приведет к возрастанию погрешностей измерения.

Конструкция щупов вольтомметра аналогична описанной на с. 19. Высокочастотный щуп-пробник монтируется в пластмассовом корпусе от негодной авторучки. Он присоединяется к вольтомметру отрезком экранированного провода длиной около 1 м.

Налаживание. В качестве образцового многопредельного вольтметра при налаживании прибора может быть использован авометр промышленного производства, например, типа ВК7-1 (ТТ-3), ТЛ-4М и т. п. Кроме того, необходимы источники постоянных напряжений до 500 В, переменные резисторы, набор постоянных резисторов с допуском ±5%. Желательно располагать также ма-

газином сопротивлений, например, типа Р33, КМС-6 и генератором стандартных сигналов типа Г4-1А (ГСС-6А) или другим с выходным высокочастотным напряжением до 1 В.

В первую очередь необходимо установить нуль шкалы напряжений. Для этого включает вольтомметр на предел 0—1 В постоянного напряжения и, соединив между собой щупы, подбирают сопротивление резистора *R13* (см. рис. 8,*а*) до установки стрелки миллиамперметра *ИП1* на нуль.

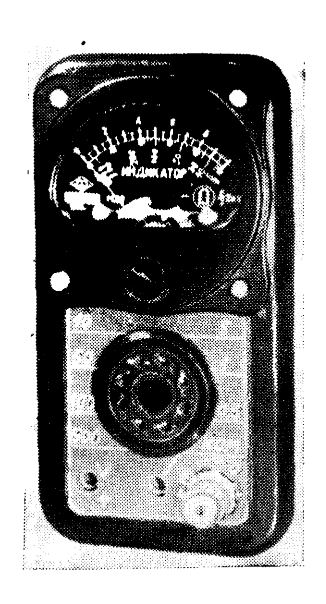


Рис. 11. Внешний вид вольтомметра

Рис. 12. Монтаж вольтомметра

Установку чувствительности вольтомметра и регулировку линейности шкалы напряжений производят с помощью вспомогательного устройства по схеме рис. 13, в котором *Б1* — элемент типа 332, *ИП1* — образцовый вольтметр, включенный на предел постоянного напряжения 0—1 В (или ближайший больший), *R1—R10* — делитель напряжения. Его сопротивления могут быть выбраны от 47 до 150 Ом, но все они должны иметь одинаковый номинал и допуск 5%.

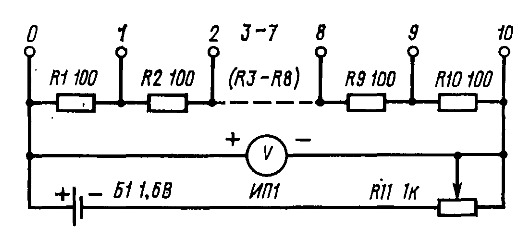


Рис. 13. Вспомогательное устройство для регулировки вольтомметра

Регулировкой переменного резистора *R11* в устройстве по схеме рис. 13 устанавливают по образцовому вольтметру *ИП1* напряжение 1 В. Вольтомметр включают на предел 0—1 В и присоединяют его щупы к точкам *0* и *5* устройства по схеме рис. 13, напряжение между которыми равно 0,5 В. Изменяя сопротивление резистора *R11* вольтметра (см. рис. 8,*а*), устанавливают отклоне-

ние его стрелки на половину шкалы. Затем, переключив щупы к точкам *0* и *10* устройства по схеме рис. 13, подают на вход вольтомметра напряжение 1 В. Если при этом стрелка вольтомметра не достигает конца шкалы (или выходит за ее пределы), то следует увеличить (или уменьшить) сопротивление резистора *R12* (на рис. 8,*а*) до отклонения стрелки на всю шкалу.

Попеременно повторяя операции, описанные в предыдущем абзаце, подбирают такие сопротивления резисторов *R11* и *R12*, чтобы стрелка вольтомметра отклонялась на всю шкалу при его подключении к точкам *0* и *10* устройства по схеме рис. 13, а на половину шкалы — к точкам *0* и *5*. Подбор облегчается, если в качестве *R11* и *R12* временно включить переменные или подстроечные резисторы, введенные сопротивления которых затем измеряют и заменяют соответствующими постоянными резисторами.

Для окончательной проверки линейности шкалы вольтомметра присоединяют один щуп к точке *0* на рис. 13, а другой — поочередно к точкам *1—10*. При этом показания вольтомметра должны равняться соответственно 0,1; 0,2; ...; 0,9; 1 В. Если будет обнаружена нелинейность в начале шкалы напряжений, то следует уточнить установку ее нуля более тщательным подбором сопротивления резистора *R13* вольтомметра. С помощью устройства по схеме рис. 13 осуществляется также установка предела 0—0,5 В. Вольтомметр переключают на этот предел, присоединяют его щупы к точкам *0* и *5* устройства и подбирают сопротивление резистора *R3* на рис. 8,*а* до отклонения стрелки на всю шкалу.

Установка остальных пределов измерения постоянного напряжения не имеет каких-либо особенностей и производится так же, как при налаживании авометра.

Налаживание высокочастотного щупа-пробника (см. рис. 8,*б*) заключается в подборе сопротивления резистора *R16*. При сопротивлении 62 кОм±5% стрелка вольтомметра отклоняется на всю шкалу, если к щупу-пробнику приложено высокочастотное напряжение 1 В±10%. Более точная установка предела измерения напряжения высокой частоты и градуировка шкалы возможны при использовании генератора стандартных сигналов.

Градуировка шкалы сопротивлений приведена при описании авометра. На шкалу наносят отметки 0, 5, 10, 20, ..., 90 кОм и 0,1; 0,2; ...; 0,5; 0,7; 1; 2 МОм.

МИЛЛИВОЛЬТМЕТР

Милливольтметр предназначен для измерения напряжений переменного тока частотой 50 Гц—200 кГц в пределах 0—1—2—10—20—100—200—1000 мВ и индикации переменных напряжений частотой 50 Гц—30 МГц. Входное сопротивление милливольтметра 2000 кОм/В, входная емкость 10 пФ. Милливольтметр питается от одного элемента типа 332, потребляемый ток 2 мА. Габаритные размеры милливольтметра 125×72×55 мм, масса 500 г.

Принципиальная схема милливольтметра (рис. 14) состоит из входного делителя напряжения, широкополосного усилителя, детектора и стрелочного измерительного прибора.

Многопредельный делитель напряжения образован резисторами *R1—R7*. Их сопротивления выбраны сравнительно малыми, что позволяет не прибегать к компенсации емкостных составляющих проводимостей входных цепей милливольтметра. Выделенная на резисторе *R7* часть измеряемого напряжения через конденсатор *C1* поступает на первый каскад усиления, собранный на составном транзисторе *T1—T2*. Его режим устанавливается с помощью резисторов *R8—R9*. Для выравнивания амплитудно-частотной характеристики каскада применена высокочастотная коррекция индуктивностью дросселя *Др1* в цепи нагрузки *Др1*, *R10*, *R11*. Каскады на транзисторах *T3* и *T4* собраны по схеме с общим эмиттером и низкоомными коллекторными нагрузками, что способствует расширению их полосы пропускания. Для установки оптимального режима выходного каскада служат резисторы *R14*, *R15*. Цепь частотно-зависимой отрицательной обратной связи *R17*, *C5* улучшает линейность амплитудной характеристики и стабилизирует усиление выходного каскада.

Усиленное напряжение с коллектора транзистора *Т4* поступает на детектор с удвоением напряжения на диодах *Д1*, *Д2*, и конденсаторах *С6*, *С7*. Благодаря достаточно большой амплитуде подводимого к диодам напряжения детектирование происходит на линейном участке их вольт-амперных характеристик. В результате улучшается равномерность проградуированной в единицах напряжения шкалы микроамперметра *ИП1*.

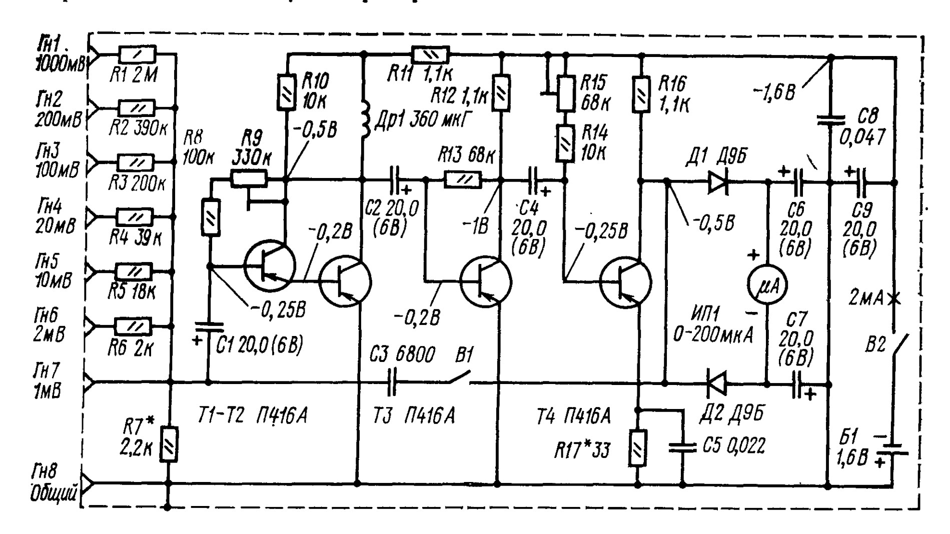


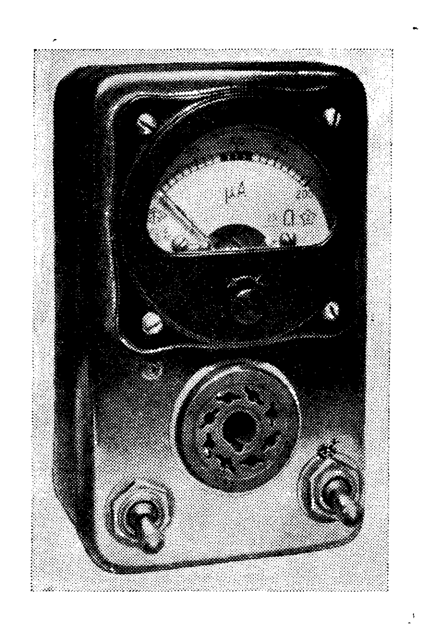
Рис. 14. Принципиальная схема милливольтметра (напряжения измерены относительно положительного полюса источника питания)

Проверка работоспособности милливольтметра осуществляется с помощью вспомогательной цепи *С3, В1*. При замыкании выключателя *В1* выход усилителя оказывается соединенным через конденсатор *С3* с его входом, и в нем возникают релаксационные колебания. Генерируемое напряжение детектируется, и стрелка микроамперметра *ИП1* отклоняется до контрольной отметки шкалы, что позволяет судить об исправности милливольтметра. Недостаточное отклонение стрелки является признаком разряда источника питания — элемента *Б1*. Источник, присоединяемый выключателем *В2*, заблокирован конденсаторами *С8*, *С9* для обеспечения устойчивой работы усилителя в широкой полосе частот.

Детали. В милливольтметре должны применяться транзисторы *Т1—Т4* с высокой граничной частотой, например, типа П403, П416, П416А, П416Б, П423 со статическим коэффициентом передачи тока не менее 50. Диоды *Д1*, *Д2* могут быть типа Д9Б—Д9Д или Д2Б—Д2Д. Постоянные резисторы: *R1* типа МЛТ-0,25; *R2—R8*, *R10—R14* и *R16* типа ВС-0,125 или УЛМ-0,12. Подстроечные резисторы *R9* и *R15* типа СП3-1а или СП3-1б. Конденсаторы *С1*, *С2*, *С4*, *С6*, *С7* и *С9* типа К50-3 или К50-6; *С3* типа КДС или БМ; *С5* и *С8* типа КЛС или БМ. Дроссель *Др1* — корректирующий от телевизоров УНТ-47/59 — имеет 270 витков провода ПЭЛШО 0,12, намотанных на резисторе типа МЛТ-0,5. Выключатели *В1* и *В2* типа ТВ2-1. В качестве гнезд *Гн1—Гн8* использована восьмигнездная ламповая панель. Элемент *Б1* типа 332. Микроамперметр *ИП1* типа М592 с током полного отклонения 200 мкА. Пригодны микроамперметры других типов, равной или большей чувствительности, желательно малогабаритные.

Конструкция и монтаж. Милливольтметр смонтирован в металлическом корпусе размерами 125×72×42 мм. К верхней крышке корпуса (рис. 15) прикреплены микроамперметр *ИП1*, панель с гнездами *Гн1—Гн8* и выключатели *В1*, *В2*. Внутри корпуса расположена гетинаксовая монтажная плата размерами 116×68×2 мм, привинченная к микроамперметру *ИП1*. Большинство деталей

установлено на плате (рис. 16) и соединено между собой голыми непересекающимися проводниками, приклеенными к обратной стороне платы клеем БФ-2. Дроссель *Др1* припаян с обратной стороны платы с целью удаления его от металлического корпуса. Подстроечные резисторы *R9* и *R15* также расположены на обратной стороне платы, а их оси со шлицами пропущены через отверстия в плате для регулировки с ее лицевой стороны. Детали делителя напряжения *R1—R7* и конденсатор *С3* припаяны непосредственно к гнездам *Гн1—Гн8* для уменьшения монтажных емкостей входных цепей и их паразитных связей с выходными.


Рис. 15. Внешний вид милливольтметра

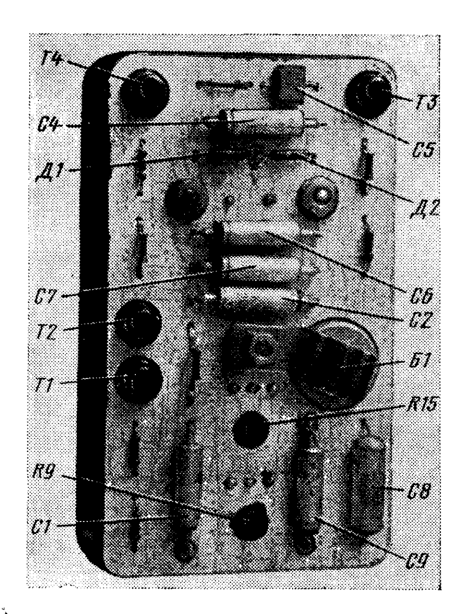


Рис. 16. Монтаж милливольтметра

В отверстии диаметром 22 мм в плате установлен элемент *Б1*, дно корпуса которого прижимается держателем, а положительный вывод упирается в латунную чашку, приклепанную изнутри к крышке милливольтметра. Плата соединена с деталями, установленными вне ее, несколькими короткими гибкими проводниками в полихлорвиниловой изоляции, что позволяет снимать плату без отпаивания.

Налаживание и градуировка. Примерные значения напряжений на электродах транзисторов указаны на рис. 14. При значительных отклонениях напряжений от указанных следует проверить транзисторы. Для налаживания милливольтметра необходимо вспомогательное устройство, подобное изображенному на рис. 13, но с источником переменного напряжения частотой 50 Гц. Налаживание достаточно выполнить лишь на пределе 0—1000 мВ.

По образцовому вольтметру *ИП1* (см. рис. 13) устанавливают регулировкой переменного резистора *R11* переменное напряжение 1 В. Присоединяют гнездо *Гн1* (см. рис. 14) милливольтметра к точке *10* вспомогательного устройства, а гнездо *Гн8* — к точке *0*, которую рекомендуется заземлить. Установив максимальное сопротивление подстроечного резистора *R9* милливольтметра, регулируют его подстроечный резистор *R15* до получения наибольших показаний микроамперметра *ИП1*, а затем доводят его стрелку до конца шкалы изменением сопротивления резистора *R9*. Поочередно соединяя гнездо *Гн1* милливольтметра с точками *0*, *1*, ..., *10* вспомогательного устройст-

ва, подают на вход напряжения 0, 100, .., 1000 мВ и строят график зависимости показаний милливольтметра от входного напряжения. Если он оказывается нелинейным в области бо́льших напряжений, повторяют описанные выше операции, уменьшив или увеличив сопротивление подстроечного резистора *R15*, и сопоставляют вновь полученные графики с предыдущим. После нескольких проб достигается удовлетворительная линейность шкалы. Если имеется большой запас усиления и стрелка милливольтметра выходит за пределы шкалы при среднем положении движка подстроечного резистора *R9*, целесообразно несколько увеличить сопротивление резистора *R17* в цепи отрицательной обратной связи. Это способствует улучшению линейности шкалы и стабилизации усиления.

В заключение градуируют шкалу милливольтметра, нанося на нее отметки и надписи 0, 100, ..., 1000 мВ при соединении гнезда *Гн1* с точками *0*, *1*, ..., *10* вспомогательного устройства. Расстояния между отметками делят пополам, так что всего образуется 20 делений ценой 50 мВ/дел. Для других пределов измерения расположение отметок сохраняется, но цена делений будет другой. По окончании градуировки нужно нанести на шкалу контрольную отметку, до которой отклоняется стрелка милливольтметра при замыкании выключателя *В1* и свежем элементе *Б1*.

Эксплуатация. Милливольтметр может использоваться для измерения низкочастотных напряжений, в частности, при налаживании усилителей и радиоприемников, а на более высоких частотах — служить индикатором напряжения. Обладая высокой чувствительностью и большим входным сопротивлением, милливольтметр, естественно, восприимчив к наводкам на входные цепи. Поэтому его следует присоединять к объектам измерения короткими проводниками или экранированным проводом, оплетку которого соединяют с гнездом *Гн8*.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ И ТРАНЗИСТОРОВ

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИОДОВ И ТРАНЗИСТОРОВ

Полупроводниковые диоды. Важнейшими параметрами выпрямительных и высокочастотных диодов являются прямой и обратный токи. Прямой ток измеряется по схеме, изображенной на рис. 17,*а*. К диоду *Д1* приложено прямое напряжение $U_{пр} \approx 1$ В от источника *Б1*. Миллиамперметр *ИП1* измеряет прямой ток диода $I_{пр}$. Ограничительный резистор *R1* защищает миллиамперметр от перегрузки при подключении пробитого диода.

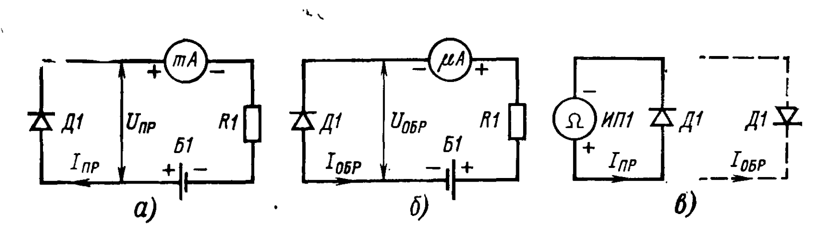


Рис. 17. Измерение параметров полупроводниковых диодов:
а — прямого тока; *б* — обратного тока; *в* — коэффициента выпрямления

Измерение обратного тока производится по схеме рис. 17,*б*. Источник *Б1* создает на диоде *Д1* обратное напряжение $U_{обр}$, под воздействием которого через диод протекает обратный ток $I_{обр}$, измеряемый микроамперметром *ИП1*. Микроамперметр защищен от перегрузки ограничительным резистором *R1*. Обычно обратный ток измеряется при максимально допустимом для данного типа диода обратном напряжении, порядка десятков или сотен вольт.

Качество диода можно охарактеризовать также его коэффициентом выпрямления

$$k = \frac{I_{пр}}{I_{обр}} = \frac{r_{обр.д}}{r_{пр.д}}, \quad (11)$$

равным отношению прямого тока $I_{пр}$ к обратному $I_{обр}$ или отношению обратного сопротивления диода $r_{обр.д}$ к его прямому сопротивлению $r_{пр.д}$, измеренным при одинаковом напряжении. Это позволяет определять коэффициент выпрямления с помощью омметра или авометра по схеме рис. 17,*в*. При комнатных температурах коэффициент выпрямления достигает нескольких тысяч, причем у кремниевых диодов он больше, чем у германиевых.

Биполярные транзисторы. К основным параметрам биполярных транзисторов относятся: обратный ток коллектора, начальный ток коллектора, коэффициент передачи тока в режиме малого сигнала и статический коэффициент передачи тока. Обратный ток коллектора транзистора структуры *p-n-p* измеряется по схеме рис. 18,*а*, а структуры *n-p-n* — по схеме рис. 18,*б*. Обратное на-

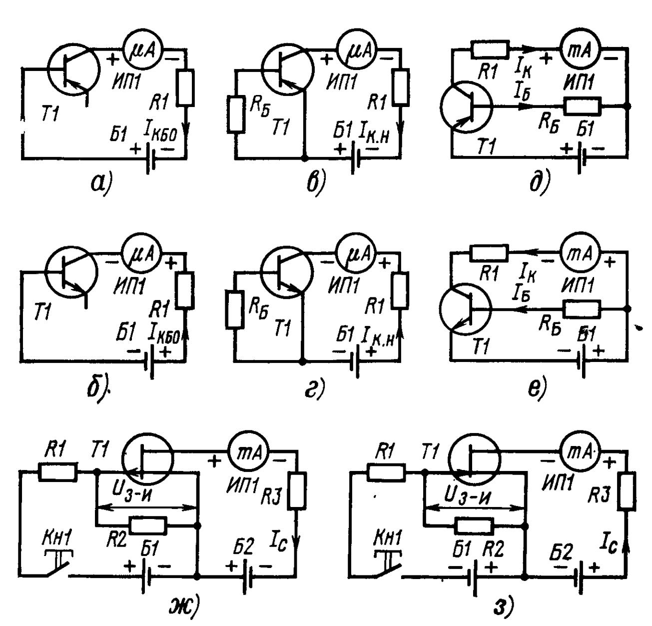


Рис. 18. Измерение параметров транзисторов:
а, б — обратного тока коллектора биполярных транзисторов; *в, г* — начального тока коллектора биполярных транзисторов; *д, е* — статического коэффициента передачи тока биполярных транзисторов в схеме с общим эмиттером; *ж, з* — максимального тока стока и крутизны стоко-затворной характеристики полевых транзисторов с *p-n*-переходом между затвором и каналом

пряжение от источника *Б1* приложено к коллекторному переходу транзистора *Т1*, эмиттер которого остается свободным. Протекающий через переход обратный ток коллектора $I_{КБО}$ измеряется микроамперметром *ИП1*, защищенным от перегрузок (в случае короткого замыкания перехода) ограничительным резистором *R1*. При комнатных температурах обратный ток не превышает нескольких микроампер у маломощных транзисторов и десятков микроампер у мощных. Начальный ток коллектора измеряется с помощью схем рис. 18, *в,г*. Между базой и эмиттером транзистора *Т1* включается резистор $R_б$, сопротивление которого выбирается в пределах 500—1000 Ом для маломощных и 0—2 Ом для мощных транзисторов. Измеряемый микроамперметром *ИП1*, который за-

щищен от перегрузок ограничительным резистором *R1*, начальный ток коллектора $I_{КЭО}$ маломощных транзисторов при комнатных температурах составляет единицы, а мощных — десятки микроампер.

Коэффициентом передачи тока транзистора в режиме малого сигнала в схеме с общим эмиттером

$$h_{21э} = \Delta I_К / \Delta I_Б \qquad (12)$$

называется отношение изменения тока коллектора $\Delta I_К$ к вызвавшему его изменению тока базы $\Delta I_Б$ в режиме короткого замыкания выходной цепи по переменному току. Непосредственное измерение этих изменений на переменном токе довольно сложно, поэтому в радиолюбительских приборах коэффициент передачи тока транзистора в режиме малого сигнала обычно определяется косвенными методами.

Статическим коэффициентом передачи тока в схеме с общим эмиттером называется отношение постоянного тока коллектора $I_К$ к постоянному току базы $I_Б$ при заданных постоянном обратном напряжении коллектор — эмиттер и токе эмиттера в схеме с общим эмиттером:

$$h_{21Э} = I_К / I_Б. \qquad (13)$$

Приближенное значение статического коэффициента передачи тока можно измерить с помощью простых схем рис. 18,*д*, *е*. Если пренебречь малым прямым сопротивлением эмиттерного перехода транзистора *T1* по сравнению с сопротивлением $R_б$ резистора в цепи базы, то ее ток равен $I_Б = U/R_б$, и статический коэффициент передачи тока

$$h_{21Э} \approx R_б I_К / U, \qquad (14)$$

где $R_б$ — сопротивление резистора в цепи базы, кОм; $I_К$ — ток коллектора, мА; U — напряжение источника питания, В. Таким образом, показания миллиамперметра *ИП1* пропорциональны статическому коэффициенту передачи тока, и его шкала может быть проградуирована в соответствующих единицах. Ограничительный резистор *R1* сопротивлением около 100 Ом защищает миллиамперметр *ИП1* от перегрузок. Предел измерения $h_{21Э}$ зависит от выбранного сопротивления резистора $R_б$. Прибор для измерения статического коэффициента передачи тока можно сделать многопредельным посредством переключения резисторов в цепи базы. Однако эта цепь не должна разрываться (даже кратковременно!) при наличии напряжения между коллектором и эмиттером проверяемого транзистора, во избежание его повреждения.

В большинстве радиолюбительских конструкций измерения $I_{КБО}$, $I_{КЭО}$, $h_{21Э}$ и U осуществляются с помощью одного и того же микроамперметра путем коммутации соответствующих элементов прибора.

Полевые транзисторы. Электрические параметры и характеристики полевых транзисторов зависят от их структуры и физических свойств, которые достаточно разнообразны. Существуют полевые транзисторы с *p*-*n*-переходом между затвором и каналом и полевые транзисторы с изолированным затвором. Они могут иметь *p*-канал (с дырочной проводимостью) или *n*-канал (с электронной проводимостью). Кроме того, встроенные каналы полевых транзисторов с изолированным затвором обладают электропроводностью и при отсутствии напряжения на затворе, а индуцированные каналы — только при подаче на затвор отрицательного относительного истока напряжения для транзистора с *p*-каналом и положительного — для транзистора с *n*-каналом.

Для приближенной оценки качества полевых транзисторов с *p*-*n*-переходом между затвором и каналом достаточно измерить максимальный ток стока и крутизну стоко-затворной характеристики. Эти параметры транзистора с *p*-каналом могут быть измерены по схеме рис. 18,*ж*, а транзистора с *n*-каналом — по схеме рис. 18,*з*. Максимальный ток стока полевого транзистора *T1* измеряется миллиамперметром *ИП1* при разомкнутой кнопке *Кн1*; когда затвор и исток соединены резистором *R2*, напряжение между ними $U_{ЗИ} = 0$ и измеряемый миллиамперметром *ИП1* ток стока максимален $I_С = I_{С макс}$. Ограничительный

резистор $R3$ сопротивлением около 100 Ом защищает миллиамперметр $ИП1$ от перегрузки при замыкании между стоком и истоком.

Крутизной стоко-затворной характеристики

$$S = \Delta I_C / \Delta U_{ЗИ} \qquad (15)$$

называется отношение изменения тока стока ΔI_C к вызвавшему его изменению управляющего напряжения между затвором и истоком $\Delta U_{ЗИ}$. Для измерения крутизны замыкается кнопка $Кн1$, и от источника $Б1$ через делитель $R1$, $R2$ на затвор подается фиксированное приращение напряжения $\Delta U_{ЗИ}$ (обычно десятые доли вольта). В результате ток стока изменяется на $\Delta I_C = I_{C\,макс} - I_C$, и крутизну стоко-затворной характеристики можно рассчитать по формуле

$$S = \frac{I_{C\,макс} - I_C}{\Delta U_{ЗИ}}. \qquad (16)$$

Параметры полевых транзисторов с изолированным затвором могут быть измерены сходными методами. Однако при этом необходимы специальные меры защиты транзистора от повреждений, которые могут быть вызваны наведенными в цепи затвора напряжениями, а также статической электризацией.

ИСПЫТАТЕЛЬ ДИОДОВ И ТРАНЗИСТОРОВ

Испытатель позволяет проверять полупроводниковые диоды и биполярные транзисторы структуры p-n-p и n-p-n на отсутствие обрывов и коротких замыканий и измерять статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером в пределах 0—50—100. Испытатель питается от трех элементов типа 332, потребляя ток не более 1 мА. Габаритные размеры испытателя 130×70×50 мм, масса ***450 г.***

Принципиальная схема испытателя изображена на рис. 19. Он состоит из источника питания *Б1*, кнопки *Кн1а—Кн1б* для его включения, миллиамперметра *ИП1*, зажимов *1—4* для присоединения испытываемых диодов и транзисторов и кнопки *Кн2а—Кн2б*, коммутирующей резисторы *R2* и *R5*.

Для испытания транзистора структуры *p-n-p* его эмиттер, база и коллектор присоединяются соответственно к зажимам *1—3*. Конструктивное устройство кнопки *Кн1а—Кн1б* таково, что при неполном ее нажатии замыкаются только контакты *Кн1а*, а при полном — также *Кн1б*. Благодаря этому при неполном нажатии кнопки последовательно с батареей *Б1* включается резистор *R3*, ограничивающий ток через миллиамперметр *ИП1* до 1 мА в случае замыканий между коллектором и эмиттером или базой испытываемого транзистора. Отклонение стрелки миллиамперметра на всю шкалу при не полностью нажатой кнопке *Кн1а—Кн1б* свидетельствует о замыкании между указанными электродами. Если же имеет место замыкание между базой и эмиттером, ток через миллиамперметр близок к нулю. Обрывы в цепях эмиттера или коллектора также проявляются отсутствием тока. При обрыве в цепи базы через миллиамперметр протекает некоторый ток, обычно самопроизвольно изменяющийся со временем из-за самопрогрева транзистора.

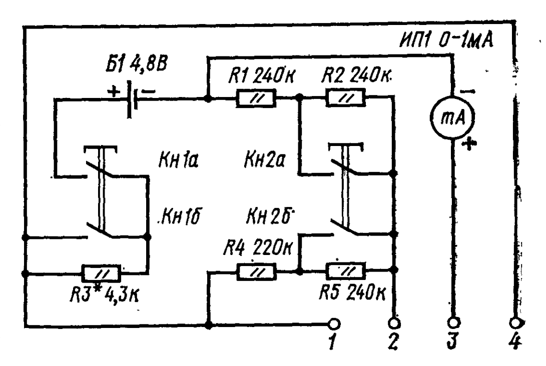


Рис. 19. Принципиальная схема испытателя диодов и транзисторов

Если замыкания и обрывы не обнаруживаются, переходят к измерению статического коэффициента передачи тока, определяемого по значению тока

коллектора при фиксированном токе базы. Кнопка *Кн1а—Кн1б* нажимается до отказа, и резистор *R3* закорачивается. Поскольку сопротивление цепи *R4*, *R5* значительно больше сопротивления эмиттерного перехода транзистора, ток его базы зависит лишь от напряжения источника питания *Б1* и сопротивления цепи *R1*, *R2*. При этом схема испытателя принимает вид, упрощенно показанный на рис. 20,*а*.

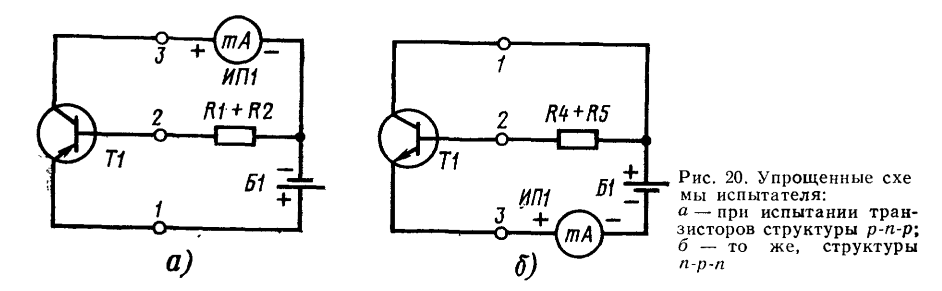


Рис. 20. Упрощенные схемы испытателя:
а — при испытании транзисторов структуры *p-n-p*; *б* — то же, структуры *n-p-n*

При разомкнутой кнопке *Кн2а—Кн2б* ток базы транзистора равен 0,01 мА, и отклонению стрелки миллиамперметра *ИП1* на всю шкалу (1 мА) соответствует значение статического коэффициента передачи тока 100. Если же кнопка нажата, то резистор *R2* закорочен, ток базы возрастает до 0,02 мА и предел измерения становится равным 50.

Для измерения начального тока коллектора, который у доброкачественных транзисторов должен быть близок к нулю, соединяют между собой зажимы *1*, *2*.

При испытании транзистора структуры *n-p-n* его эмиттер, базу и коллектор присоединяют соответственно к зажимам *3*, *2*, *1*. Проверку на отсутствие коротких замыканий и обрывов в цепях электродов транзистора производят при неполном нажатии кнопки *Кн1а—Кн1б*, как описано выше.

Ток базы транзистора структуры *n-p-n* зависит от напряжения источника *Б1* и сопротивления цепи *R4*, *R5*, а влиянием сопротивления цепи *R1*, *R2*, которая оказывается присоединенной параллельно эмиттерному переходу транзистора, можно пренебречь. Упрощенная схема испытателя для этого случая приведена на рис. 20,*б*, из которого следует, что через миллиамперметр *ИП1* протекает ток эмиттера транзистора, приближенно равный току коллектора. Поэтому градуировка шкалы испытателя общая для транзисторов структур *p-n-p* и *n-p-n*, а дополнительная погрешность измерения не превышает 5% в любой точке шкалы на обоих пределах измерения.

Измерить начальный ток коллектора транзистора структуры *n-p-n* можно, соединив между собой зажимы *2* и *3*. Дополнительный зажим *4*, соединенный с зажимом *1*, облегчает подключение к испытателю транзисторов с различным расположением выводов без изгибания выводных проводников.

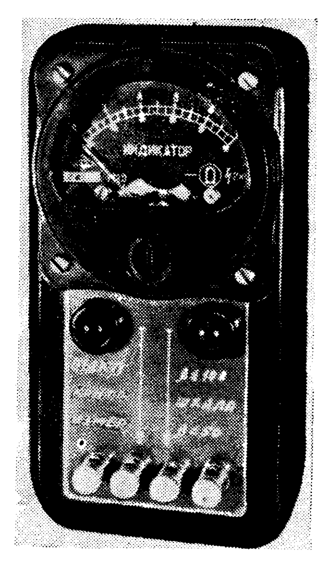
Для проверки полупроводникового диода присоединяют его анод к зажиму *1*, а катод — к зажиму *3* и не полностью нажимают кнопку *Кн1а—Кн1б*. Миллиамперметр *ИП1* измеряет прямой ток диода, ограниченный резистором *R3*. При перемене полярности диода через миллиамперметр течет обратный ток, практически близкий к нулю. Если же и при обратной полярности ток близок к измеренному ранее, то диод пробит. Отсутствие тока при любой полярности включения диода свидетельствует об обрыве вывода или выгорании *p-n*-перехода диода.

Контроль напряжения батареи *Б1* осуществляется при соединенных между собой зажимах *3* и *4* и не полностью нажатой кнопке *Кн1а—Кн1б*. В этом случае прибор *ИП1* является вольтметром, а *R3* — его добавочным резистором. При отклонении стрелки прибора менее чем на 0,9 длины шкалы следует заменить батарею *Б1*.

Детали. В испытателе установлен миллиамперметр типа М20 с током полного отклонения 1 мА и внутренним сопротивлением 350 Ом. Он имеет шкалу с 20-ю делениями. Резисторы *R1—R5* могут быть любых типов с допуском 5%.

Батарея *Б1* состоит из трех элементов типа 332, соединенных последовательно. Устройство кнопок *Кн1а—Кн1б* и *Кн2а—Кн2б* описано ниже.

Конструкция и монтаж. Испытатель смонтирован в пластмассовом корпусе размерами 130×70×38 мм, на верхней крышке которого (рис. 21) расположены миллиамперметр *ИП1*, головки кнопок *Кн1а—Кн1б*, *Кн2а—Кн2б* и зажимы *1—4*. Надписи и обозначения выполнены на плотной бумаге, прижатой к крышке наличником из тонкого оргстекла.



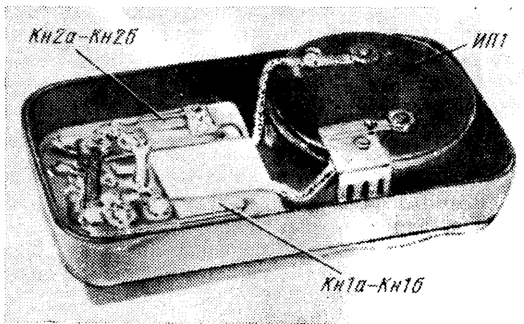


Рис. 22. Монтаж испытателя

Рис. 21. Внешний вид испытателя

К внутренней поверхности крышки прикреплена гетинаксовая плата размерами 64×64×2 мм, на которой установлены контактные группы кнопок *Кн1а—Кн1б*, *Кн2а—Кн2б* и резисторы *R1—R5* (рис. 22). Поверх этих деталей располагаются элементы батареи *Б1*. Электрический монтаж испытателя выполнен проводниками в полихлорвиниловой изоляции.

Контактные группы кнопок *Кн1а—Кн1б* и *Кн2а—Кн2б* изготовлены из пружин от реле, между которыми вставлены гетинаксовые прокладки (рис. 23,*а*), и привинчены к плате винтами *М3*. Во избежание замыканий между пружинами на винты надеты изоляционные трубки. В контактной группе каждой кнопки достаточно трех пружин, так как два контакта в группе — общие (см. рис. 19). При распайке кнопки *Кн1а—Кн1б* верхнюю (на рис. 23,*а*) пружи-

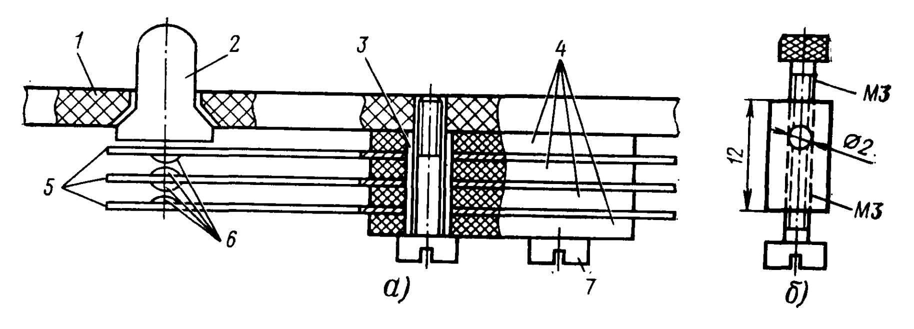


Рис. 23. Детали испытателя:
а — кнопка (*1* — плата; *2* — кнопка; *3* — трубка; *4* — прокладка; *5* — пружины; *6* — контакт; *7* — винт); *б* — зажим

ну соединяют с положительным полюсом батареи *Б1*, среднюю — с резистором *R3*, нижнюю — с зажимами *1* и *4*. Неполное нажатие на головку кнопки вызывает замыкание верхней пружины со средней (контакты *Кн1а* на рис. 19), а нажатие до отказа — замыкание средней пружины с нижней (контакты *Кн1б* на рис. 19).

Конструкция зажимов *1—4* показана на рис. 23,*б*. Зажим представляет собой металлический цилиндр со сквозной внутренней резьбой М3, привинченный к верхней крышке корпуса винтом, который одновременно служит для скрепления платы с крышкой и наличником, а также для электрического соединения зажима с соответствующими деталями испытателя. При измерениях вывод транзистора вводят в радиальное отверстие зажима и зажимают верхним винтом с накатанной головкой.

Налаживание заключается в подборе сопротивления резистора *R3* до отклонения стрелки миллиамперметра *ИП1* на всю шкалу при неполном нажатии кнопки *Кн1а—Кн1б* и соединенных между собой зажимах *3* и *4*. Подбор облегчается, если последовательно с резистором сопротивлением 3,9 кОм включить резистор, сопротивление которого подбирают в пределах 100—470 Ом.

Возможные изменения. При желании можно выбрать другие пределы измерения, для чего достаточно изменить сопротивление резисторов *R1*, *R2* и *R4*, *R5* пропорционально изменению пределов. Например, для получения пределов 0—100—200 сопротивления этих резисторов должны быть удвоены.

ПРИБОР ДЛЯ ПРОВЕРКИ ТРАНЗИСТОРОВ И ДИОДОВ

Прибор предназначен для проверки исправности полупроводниковых диодов и биполярных транзисторов структуры p-n-p и n-p-n и измерения их коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером в пределах 5—200. Прибор питается от одного элемента типа 332, потребляя ток не более 50 мА. Габаритные размеры прибора 115×65×50 мм, масса 300 г.

Принципиальная схема. Измерение коэффициента передачи тока осуществляется в режиме генерации. Для упрощения и удешевления прибора в нем применен индикатор на неоновой лампе. Принципиальная схема прибора приведена на рис. 24,*а*.

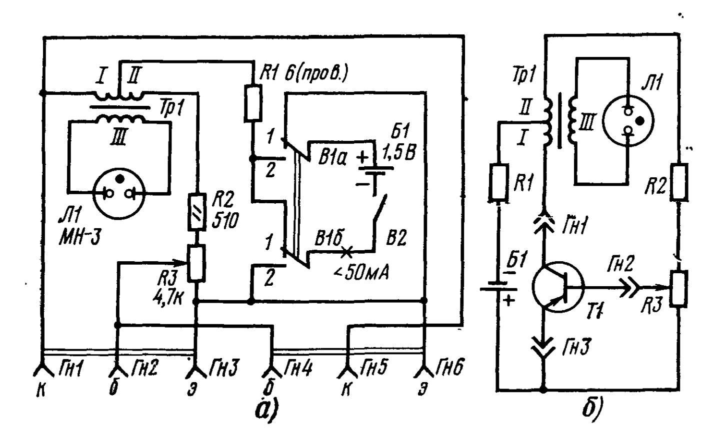


Рис. 24. Схемы прибора для проверки транзисторов и диодов:
а — принципиальная; *б* — упрощенная

При проверке транзистора структуры *p-n-p* переключатель *В1а—В1б* устанавливается в верхнее (по схеме рис. 24,*а*) положение, и выводы коллектора, базы и эмиттера присоединяются соответственно к гнездам *Гн1*, *Гн2*, и *Гн3*. Вторая группа гнезд, *Гн4*, *Гн5* и *Гн6*, облегчает подключение к прибору транзисторов с другим расположением выводов. После замыкания выключателя пи-

тания *В2* схема прибора приобретает вид, упрощенно показанный на рис. **24,*б*.** Как следует из схемы, прибор представляет собой трехточечный генератор, колебательный контур которого образован обмотками *I* и *II* трансформатора *Тр1,* его распределенной емкостью и межэлектродными емкостями транзистора *Т1*. Генерация поддерживается благодаря положительной обратной связи с обмотки *II* трансформатора *Тр1* через делитель напряжения *R2, R3* на базу транзистора *Т1*.

Амплитуда генерируемых колебаний зависит от глубины обратной связи и коэффициента передачи тока транзистора. Изменяя с помощью переменного резистора *R3* глубину положительной обратной связи, можно регулировать амплитуду колебаний: она максимальна в верхнем (по схеме рис. 24,*б*) положении движка резистора, а при перемещении его вниз (по схеме) — уменьшается вплоть до срыва колебаний.

Неоновая лампа *Л1*, присоединенная к повышающей обмотке *III* трансформатора *Тр1,* является индикатором колебаний. При перемещении вниз (по схеме рис. 24,*б*) движка переменного резистора *R3*, ручка которого снабжена шкалой, свечение лампы *Л1* ослабевает, и в некотором положении движка прекращается. Это означает, что напряжение на повышающей обмотке *III* трансформатора *Тр1* становится равным напряжению погасания, которое постоянно для каждого экземпляра лампы. Таким образом, перемещая движок переменного резистора *R3*, можно зафиксировать погасание лампы, при котором амплитуда колебаний имеет определенное значение.

Очевидно, что для различных транзисторов *Т1* погасание лампы *Л1* будет происходить при разных положениях движка резистора *R3*: чем больше коэффициент передачи тока транзистора, тем меньшее напряжение положительной обратной связи необходимо для поддержания амплитуды колебаний, соответствующей погасанию лампы. Поэтому шкала переменного резистора *R3* может быть проградуирована в единицах коэффициента передачи, причем верхнему (по схеме рис. 24,*б*) положению движка резистора *R3* соответствует наименьший коэффициент, а перемещению его вниз — наибольший. Определить их для разных положений движка можно расчетным путем, однако в любительских условиях проще проградуировать шкалы прибора по опорным транзисторам с известными коэффициентами передачи тока.

Резистор *R2* ограничивает постоянную составляющую тока базы транзистора *Т1*, а также несколько растягивает шкалу прибора. Резистор *R1* ограничивает ток, возникающий при подключении к прибору транзистора, в котором происходит замыкание между коллектором и эмиттером или базой, до значения, безопасного для трансформатора *Тр1* и источника питания *Б1*. Генерируемое в приборе напряжение имеет частоту около 20 кГц. Благодаря этому измерение происходит в условиях, приближенных к реальным режимам работы транзисторов в практических устройствах: усилителях, генераторах и др.

Для проверки транзисторов структуры *n-p-n* необходимо изменить полярность питающего транзистор напряжения, переведя переключатель *В1а—В1б* в нижнее (по схеме рис. 24,*а*) положение. Процесс измерения не отличается от описанного выше.

Для проверки полупроводниковых диодов в гнезда *Гн1—Гн3* включают исправный кремниевый транзистор структуры *р-n-р* (*n-р-n*) и переменным резистором *R3* устанавливают среднюю яркость свечения лампы *Л1*. Катод (анод) диода присоединяют к гнезду *Гн4*, анод (катод) — к *Гн6*. При этом прямое сопротивление диода шунтирует эмиттерный переход транзистора, генерация прекращается, а лампа *Л1* гаснет. Если поменять местами выводы диода, то его обратное сопротивление, которое значительно больше сопротивления эмиттерного перехода, не повлияет на работу генератора и лампа *Л1* будет светиться.

При погасании лампы *Л1* при любой полярности включения диода — он пробит. Если же лампа светится независимо от полярности диода, то имеется обрыв вывода или выгорание *р-n*-перехода. Если используемый для проверки диодов транзистор удобнее включать в гнезда *Гн4—Гн6*, то диод присоединяют к гнездам *Гн2* и *Гн3*.

Детали. Наиболее ответственной деталью прибора является трансформатор *Тр1*. Он намотан на кольцевом сердечнике типоразмера К10×6×5 из феррита

марки 1000НН (можно заменить на 600НН). Обмотка *I* содержит 35 витков ПЭВ 0,1; *II* — 70 витков ПЭВ 0,1; *III* — намотана проводом ПЭВ 0,08 до заполнения окна сердечника. При отсутствии кольцевого сердечника можно намотать трансформатор в броневом сердечнике из феррита марки 600НН, составленном из двух чашек наружным диаметром 11 мм, высотой 5 мм (пригодны сердечники и каркасы от катушек контуров промежуточной частоты радиоприемников «Спидола», «ВЭФ-12» и т. п.). Данные обмоток остаются без изменений. В крайнем случае сердечником может служить стержень из феррита марки 600НН (или 400НН) диаметром 8 мм, длиной 50 мм. В этом варианте обмотки трансформатора содержат: *I*—50 витков ПЭВ 0,2; *II*—100 витков ПЭВ 0,2; *III* — 2500 витков ПЭВ 0,05—0,08, намотанных «внавал» по всей длине стержня. При использовании такого трансформатора сопротивления резисторов *R2*, *R3* должны быть уменьшены в 3—5 раз по сравнению с указанными на рис. 24,*а*. Пределы измерения коэффициента передачи тока несколько сузятся.

Резистор *R1* намотан манганиновым проводом на резисторе типа МЛТ-0,5, который служит каркасом. Резистор *R2* типа ВС-0,125 или УЛМ-0,12. Переменный резистор может быть типа СП-2, ВК-0,5 и т. п. Переключатель *В1а—В1б* типа ТП1—2, выключатель *В2* типа ТВ2-1. Элемент *Б1* типа 332. Неоновая лампа *Л1* типа МН-3 выбрана благодаря наименьшему, по сравнению с другими типами, напряжению зажигания. С худшими результатами можно применить лампу типа МН-6а.

Для подключения к прибору проверяемых транзисторов и диодов используют две транзисторные панельки: одна с гнездами *Гн1—Гн3*, другая с гнездами *Гн4—Гн6*. Целесообразно изготовить из такой же панельки соответствующую трехштырьковую вилку с удлинительными проводниками, оканчивающимися зажимами «крокодил». Это позволит присоединять к прибору транзисторы и диоды со специальными выводами, а также установленные на радиаторах.

Конструкция и монтаж. Прибор смонтирован в металлическом корпусе размерами 115×65×35 мм со съемной верхней крышкой, которая служит лицевой панелью. На ней смонтированы (рис. 25) транзисторные панельки с гнездами *Гн1—Гн3* и *Гн4—Гн6*, ручка «клювик» и шкала переменного резисто-

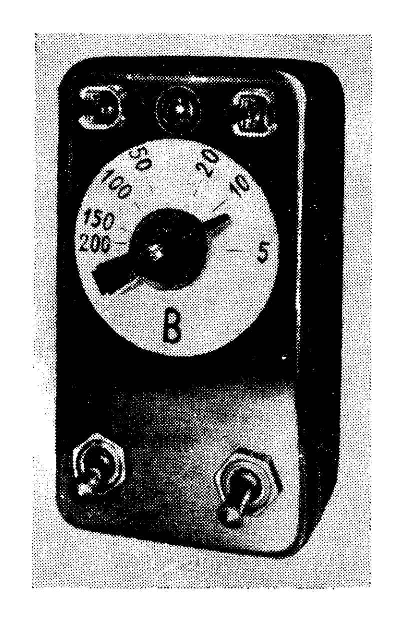


Рис. 25. Внешний вид прибора

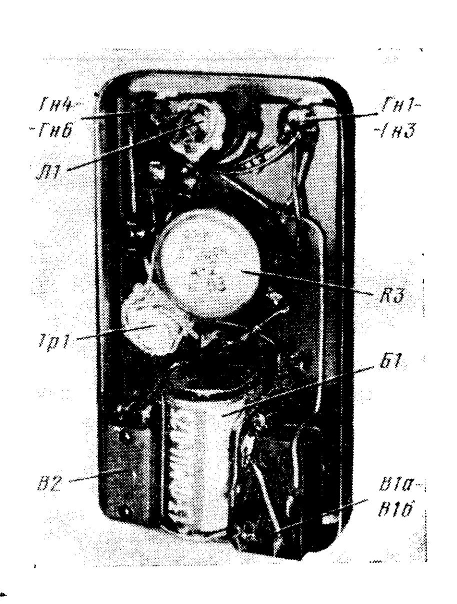


Рис. 26. Монтаж прибора

ра *R3*, ручки переключателя *В1а—В1б* и выключателя *В2*, а также сделано отверстие, через которое наблюдается свечение лампы *Л1*.

Внутри крышки укреплена гетинаксовая монтажная плата размерами 100×58×2 мм. В отверстия платы вставлены втулки переключателя *В1а—В1б* и выключателя *В2*, на которые навинчены гайки, после чего втулки пропущены сквозь отверстия в крышке и привинчены к ней гайками. При такой установке платы не требуется дополнительных крепежных деталей. Кроме того, между платой и крышкой образуется зазор около 3 мм, который предотвращает замыкание на крышку заклепок монтажных лепестков платы. На лепестках распаяны выводы трансформатора *Тр1* и постоянных резисторов (рис. 26). Трансформатор приклеен к плате полистирольным клеем.

Установленная перпендикулярно плате неоновая лампа *Л1* расцоколевана для уменьшения высоты прибора, а ее выводы наращены изолированными проводниками, припаянными к лепесткам. Баллон лампы пропущен через отверстие диаметром 15 мм в плате, а купол баллона упирается в отверстие диаметром 10 мм в крышке корпуса прибора. Электрический монтаж прибора выполнен проводом в полихлорвиниловой изоляции.

Налаживание. Для проверки работоспособности прибора вставляют в панельку заведомо исправный транзистор, устанавливают переключатель *В1а—В1б* в соответствии со структурой транзистора и включают питание выключателем *В2*. Вращая ручку переменного резистора *R3*, наблюдают свечение неоновой лампы *Л1*. При повороте ручки свечения лампы должно ослабевать, и в некотором положении ручки она погаснет.

Для градуировки шкалы прибора необходимо иметь несколько опорных транзисторов, коэффициенты передачи тока которых известны. Они могут быть предварительно измерены промышленными приборами, например, типа Л2-1 (ИПТ-1), Л2-23 и др. Присоединив один из этих транзисторов к налаживаемому прибору, включают его и, медленно поворачивая ручку переменного резистора *R3*, наблюдают за ослаблением свечения неоновой лампы *Л1*. Положение ручки, при котором лампа погаснет, отмечают на шкале и наносят на нее значение коэффициента передачи тока данного транзистора. Таким же образом отмечают на шкале коэффициенты передачи тока других опорных транзисторов. Промежуточные значения получают приближенным делением интервалов шкалы между нанесенными отметками.

При градуировке и последующей эксплуатации прибора на неоновую лампу не должен падать яркий свет, например солнечный или яркий свет электрических ламп, так как под воздействием сильного освещения параметры неоновой лампы могут изменяться, что увеличило бы погрешности градуировки и измерений.

ИЗМЕРИТЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ ТРАНЗИСТОРОВ

Измеритель предназначен для проверки биполярных транзисторов структуры р-п-р и п-р-п на отсутствие обрывов и коротких замыканий, измерения статического коэффициента передачи тока в пределах 0—50—250, обратного и начального токов коллектора в пределах 0—50 мкА. Измеритель позволяет проверять полевые транзисторы с р-п-переходом между затвором и каналом на отсутствие обрывов и коротких замыканий и измерять максимальный ток стока в пределах 0—1 мА. Возможны проверка исправности полупроводниковых диодов и измерение их обратного тока в пределах 0—50 мкА. Измеритель питается от трех элементов типа 332 и потребляет ток не более 1 мА. Габаритные размеры измерителя 125×72×65 мм, масса 550 г.

Принципиальная схема (рис. 27) содержит гнезда *Гн1—Гн3*, резисторы *R1—R4*, коммутирующие элементы *В1—В4*, микроамперметр *ИП1*, защищенный от перегрузок диодом *Д1*, и источник питания — батарею *Б1*.

Коллектор (К), базу (Б) и эмиттер (Э) проверяемого биполярного транзистора подключают соответственно к гнездам *Гн1*, *Гн2* и *Гн3*. Согласно справочным данным, статический коэффициент передачи тока многих типов маломощных транзисторов определяется при напряжении коллектора 5 В и токе 1 мА. Режимы маломощных транзисторов в большинстве практических устройств достаточно близки к таким значениям. Поэтому для получения резуль-

татов измерений, сопоставимых со справочными сведениями, в описываемом приборе напряжение источника питания цепи коллектора проверяемого транзистора выбрано равным 4,8 В, а ее ток ⩽1 мА. Для измерения статического коэффициента передачи тока в пределах 0—250 необходимый ток базы 0,004 мА задается включенными в ее цепь резисторами *R1* и *R2* общим сопротивлением 1200 кОм. При измерении в пределах 0—50 резистор *R1* замыкается выключателем *В1*, и ток базы становится равным 0,02 мА.

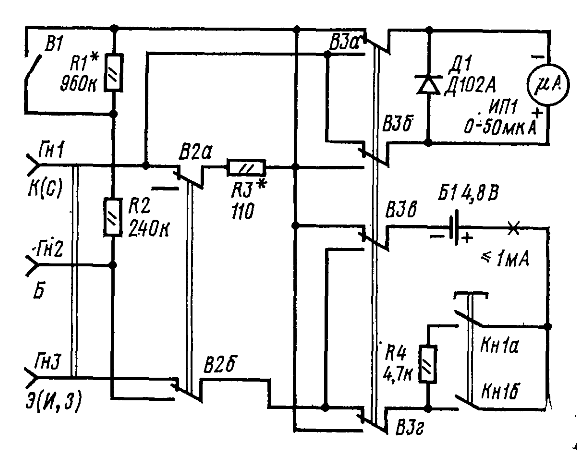


Рис. 27. Принципиальная схема измерителя параметров транзисторов

Переключатель *В2а* вводит в цепь коллектора проверяемого транзистора шунт-резистор *R3* для измерения с помощью микроамперметра *ИП1* токов до 1 мА. При этом переключатель *В2б* соединяет эмиттер с цепью питания. Переключатель *В3а—В3б* изменяет полярность присоединения микроамперметра *ИП1*, а переключатель *В3в—В3г* — батареи *Б1*. Это позволяет в верхнем (по схеме рис. 27) положении переключателя *В3а—В3г* проверять транзисторы структуры *р-п-р*, а в нижнем — структуры *п-р-п*.

Кнопка включения питания *Кн1а—Кн1б* устроена так, что при неполном ее нажатии замыкаются только контакты *Кн1а*, и в цепь батареи *Б1* введен ограничительный резистор *R4*. Благодаря этому, в случае замыкания между коллектором и эмиттером или базой проверяемого транзистора, ток батареи не превышает значения 1 мА, безопасного для микроамперметра *ИП1* с присоединенным к нему шунтом *R3*.

При нажатии кнопки *Кн1а—Кн1б* до отказа замыкаются также ее контакты *Кн1б*, резистор *R4* закорачивается, и микроамперметр *ИП1* с шунтом *R3* измеряет ток коллектора транзистора, пропорциональный его статическому коэффициенту передачи тока (стр. 32). Поэтому шкала микроамперметра может быть проградуирована в значениях статического коэффициента передачи тока.

Если ток коллектора проверяемого транзистора не превышает 1 мА, то к микроамперметру *ИП1* приложено напряжение не более 0,1 В, проводимость присоединенного параллельно ему кремниевого диода *Д1* незначительна и диод не влияет на показания прибора. При замыкании или пробое транзистора в процессе измерений напряжение на микроамперметре не превышает 0,6—0,7 В вследствие резкого увеличения проводимости диода. Возникающая при этом 6—7-кратная токовая перегрузка микроамперметра безопасна, если она кратковременна. Для сокращения времени перегрузки кнопка *Кн1а—Кн1б* снабжена сильной возвратной пружиной, которая после отпускания кнопки мгновенно размыкает контакты *Кн1б*, а затем и *Кн1а*. Примененные в приборе схемные и конструктивные меры защиты микроамперметра достаточно надежно предохраняют его от последствий возможных замыканий в цепях проверяемых транзисторов.

Для измерения обратного тока коллектора транзистора в пределах 0—50 мкА переключатель *В2а—В2б* переводят в нижнее (по схеме рис. 27) положение. Его контакты *В2а* размыкают цепь шунта *R3*, а *В2б* — отключают от источника питания эмиттер и присоединяют к нему базу транзистора.

Для измерения начального тока коллектора транзистора в пределах 0—50 мкА необходимо включить между его базой и эмиттером наружный резистор, сопротивление которого указывается в справочных данных транзистора. Приближенное значение начального тока можно измерить при соединенных между собой выводах базы и эмиттера, для чего достаточно вставить их в гнездо *Гн2*.

Конструкция и детали. Измеритель параметров транзисторов смонтирован в металлическом корпусе размерами 125×72×42 мм со съемной крышкой, которая служит лицевой панелью прибора (рис. 28). На панели установлены микроамперметр *ИП1* типа М592 с током полного отклонения 50 мкА и внутренним сопротивлением околоо 2 кОм. В качестве гнезд *Гн1—Гн3* использована транзисторная панелька. Выключатель *В1* типа ТВ2-1, переключатель *В2а—В2б* типа ТП1-2. Переключатель *В3а—В3б* состоит из двух переключателей типа ТП1-2, ручки которых просверлены и после установки на панели прибора соединены между собой стальным стержнем диаметром 1,5 мм. Кнопка *Кн1а—Кн1б* — самодельная, изготовленная из пружин от реле. Резисторы *R1—R4* могут быть любых типов с допуском ±5%. Батарея *Б1* состоит из трех соединенных последовательно элементов типа 332, которые вставляют в кассету, склеенную из листового полистирола и снабженную упругими токосъемниками.

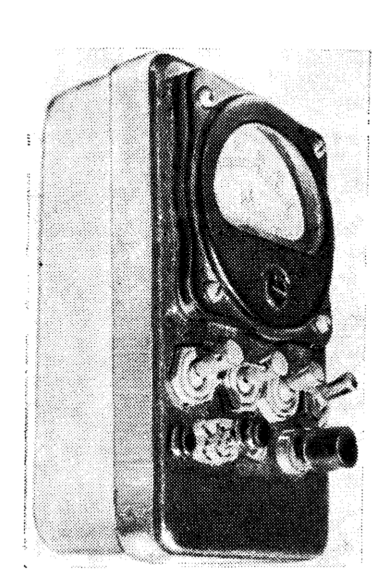


Рис. 28. Внешний вид измерителя параметров транзисторов

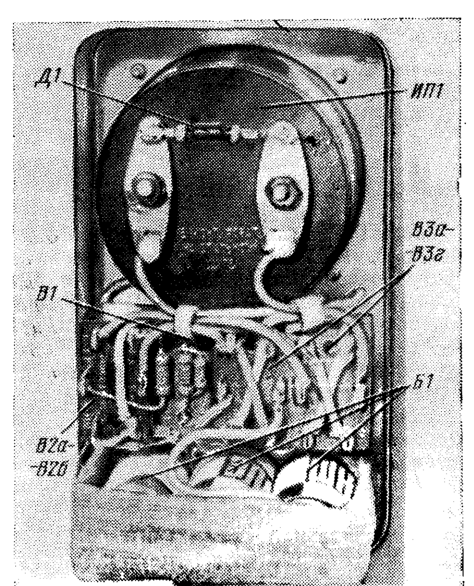


Рис. 29. Монтаж измерителя параметров транзисторов

Монтаж измерителя параметров транзисторов (рис. 29) выполнен гибкими проводниками в полихлорвиниловой изоляции. Резисторы *R1—R4* распаяны на выводных лепестках переключателей и кнопки.

Эксплуатация. Испытания биполярных транзисторов начинают с измерения статического коэффициента передачи тока на пределе 0—250. При этом выключатель *В1* должен быть разомкнут, переключатель *В2а—В2б* установлен

в нижнее (по схеме рис. 27) положение, а переключатель *В3а—В3б* — соответственно структуре проверяемого транзистора. Не полностью нажимая кнопку *Кн1а—Кн1б*, убеждаются в отсутствии замыканий. Затем нажимают кнопку до отказа и измеряют статический коэффициент передачи тока. Если окажется, что он меньше 50, замыкает выключатель *В1* и переходят на предел измерения 0—50. После этого измеряют обратный ток коллектора и начальный ток коллектора, установив переключатель *В2а—В2б* в верхнее (по схеме рис. 27) положение.

Полевые транзисторы с *р-п*-переходом между затвором и каналом могут быть проверены на отсутствие обрывов и замыканий в цепях истока и стока, а также на максимальный ток стока в пределах 0—1 мА при нулевом напряжении на затворе. Для этого вывод стока (С) включается в гнездо *Гн1*, а выводы затвора (З) и истока (И) — в гнездо *Гн3*. Транзисторы с *р*-каналом проверяют в верхнем (по схеме рис. 27) положении переключателя *В3а—В3г*, а с *п*-каналом — в нижнем.

Прибор позволяет также проверять на отсутствие обрывов и замыканий полупроводниковые диоды и измерять их обратный ток в пределах 0—50 мкА при обратном напряжении 4,8 В. Для проверки исправности диода соединяют его катод с гнездом *Гн1*, анод с гнездом *Гн3*, переключатели *В2а—В2б* и *В3а—В3г* устанавливают в верхнее (по схеме рис. 27) положение и не полностью нажимают кнопку *Кн1а—Кн1б*. При этом микроамперметр *ИП1* должен регистрировать прямой ток диода, ограниченный резистором *R4*. Если перевести переключатель *В3а—В3г* в нижнее положение, то микроамперметр *ИП1* с шунтом *R3* регистрирует по шкале 0—1 мА обратный ток. Для его измерения в пределах 0—50 мкА переставляют вывод анода диода в гнездо *Гн2* и отключают шунт *R3*, переводя переключатель *В2а—В2б* в нижнее (по схеме рис. 27) положение.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ

Генератор сигналов предназначен для настройки, проверки и регулировки приемно-усилительной аппаратуры. Он вырабатывает немодулированные и амплитудно-модулированные колебания высокой частоты 0,1—30 МГц и колебания низкой частоты 1000 Гц. Диапазон высоких частот перекрывается пятью поддиапазонами: I — 0,1—0,32 МГц; II — 0,32—1 МГц; III — 1—3,2 МГц; IV — 3,2—10 МГц; V — 10—30 МГц. Частота модуляции 1000 Гц, коэффициент амплитудной модуляции 30%. Напряжения высокой и низкой частоты на выходах генератора плавно регулируются в пределах 0—100 мВ и могут ослабляться выносным делителем в 10, 100, 1000 или 10 000 раз. Имеется выход нерегулируемого напряжения 300 мВ частотой 1000 Гц. Генератор сигналов питается от одного элемента типа 332, потребляемый ток 3 мА. Габаритные размеры 115×65×50 мм, масса 350 г. Габаритные размеры выносного делителя 100×45×35 мм, масса 150 г.

Принципиальная схема (рис. 30) содержит высокочастотный генератор на транзисторе *Т1*, эмиттерный повторитель на транзисторе *Т2*, являющийся также модуляционным каскадом, и генератор низкой частоты на транзисторе *Т3*.

Высокочастотный генератор собран на транзисторе *Т1* по схеме с общим эмиттером и индуктивной связью. Колебательный контур, образованный катушкой *L1* и конденсатором переменной емкости *С4*, включен в цепь коллектора транзистора *Т1*. Напряжение положительной обратной связи, возникающее на катушке *L2*, приложено между базой и эмиттером транзистора *Т1* через разделительный конденсатор *С2*. С помощью резистора *R1* на базе транзистора *Т1* устанавливается такое напряжение смещения, при котором переменное напряжение на контуре *L1C4* имеет амплитуду около 1 В и практически синусоидальную форму.

Катушки *L1*, *L2* и конденсатор связи с последующим каскадом *С3* для каждого поддиапазона выполнены в виде сменного узла, ограниченного на

рис. 30 штрихпунктирными линиями, который подключается к генератору с помощью разъема *1–5*. Подбор емкостей конденсаторов *С3* позволяет подавать на вход каскада на транзисторе *Т2* практически одинаковые на всех поддиапазонах высокочастотные напряжения.

Эмиттерный повторитель на транзисторе *Т2* имеет высокое входное сопротивление и малую входную емкость, благодаря чему он почти не нагружает контур *L1C4*, и колебания в контуре достаточно стабильны. К базе транзи-

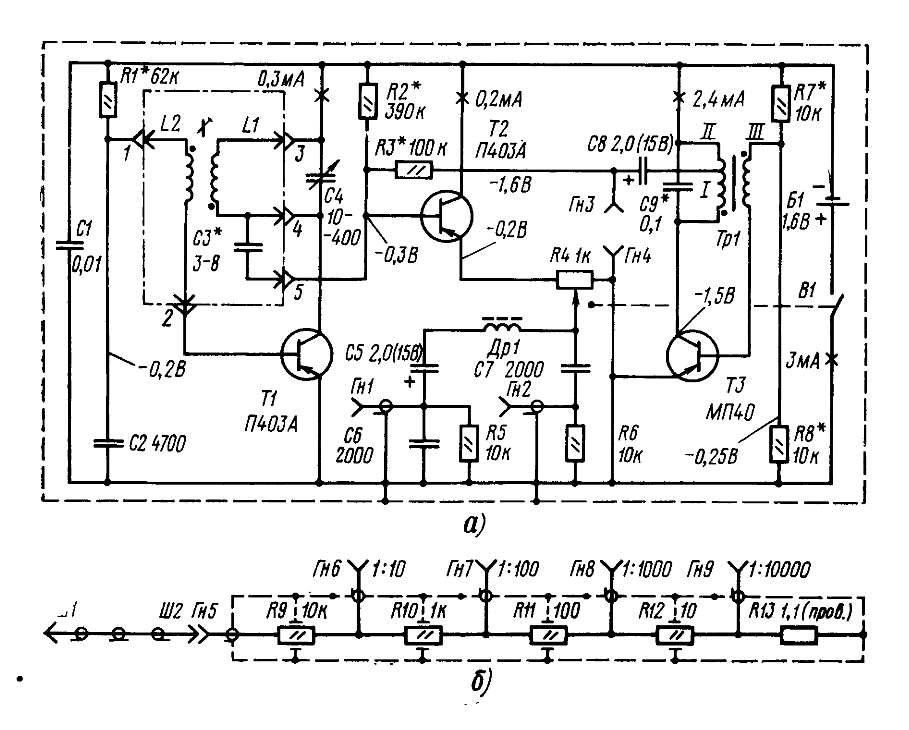


Рис. 30. Принципиальная схема генератора сигналов (напряжения измерены относительно положительного полюса источника питания):
а — генератор сигналов; *б* — выносной делитель напряжения

стора *Т2* приложены напряжение высокой частоты, подаваемое через конденсатор *С3*, напряжение низкой частоты, поступающее через цепь *C8R3*, и постоянное напряжение смещения, которое подается через резистор *R2* и необходимо для оптимального выбора рабочего участка на характеристике транзистора. Совместное действие этих напряжений вызывает амплитудную модуляцию высокочастотной составляющей эмиттерного тока транзистора *Т2* низкой частотой. Напряжение высокой частоты, выделяющееся на включенном в цепь эмиттера нагрузочном переменном резисторе *R4*, также промодулировано по амплитуде. Малое выходное сопротивление эмиттерного повторителя позволяет нагружать его сравнительно низкоомным (1 кОм) плавным делителем выходного напряжения *R4*, что благоприятно отражается на нагрузочных характеристиках генератора сигналов и практически устраняет наводки на его выходные цепи.

Поскольку низкочастотная составляющая тока эмиттера транзистора *Т2* также протекает через резистор *R4*, то на нем выделяется и напряжение низкой частоты. Таким образом, с движка резистора *R4* можно одновременно снимать регулируемые низкочастотное и модулированное высокочастотное напряжение. В большинстве случаев одновременное воздействие на объект измерения обоих этих напряжений нежелательно, поэтому они разделяются с помощью простейших фильтров.

Г-образный фильтр *Др1С5С6R5* пропускает к коаксиальному выходному гнезду *Гн1* ток низкой частоты, для которого сопротивление цепи *Др1С5* незначительно по сравнению с сопротивлением цепи *С6R5*. Высокочастотная составляющая не проникает к гнезду *Гн1*, так как для нее индуктивное сопротивление дросселя *Др1* велико, а емкостное сопротивление конденсатора *С6* мало́. Конденсатор *С5* задерживает также постоянную составляющую тока. Г-образный фильтр *С7R6* предотвращает появление на выходном коаксиальном гнезде *Гн2* низкочастотной составляющей, так как для нее емкостное сопротивление конденсатора *С7* значительно больше сопротивления резистора *R6*.

Применение фильтров позволяет разделить колебания высокой и низкой частоты и иметь для них отдельные выходные гнезда. Наряду с этим регулировка обоих напряжений производится одним и тем же переменным резистором *R4*, что упрощает конструкцию и облегчает эксплуатацию генератора сигналов. Резистор *R4* снабжен шкалой, которая может быть проградуирована в милливольтах выходного напряжения, причем благодаря соответствующему выбору номиналов деталей *С3*, *R3*, *R5* градуировка общая для низкочастотного и высокочастотного напряжений.

Возможности ослабления выходного сигнала плавным делителем напряжения — переменным резистором *R4* — ограничены уровнем наводок от цепей генераторов на гнезда *Гн1, Гн2* и соединенные с ними детали и проводники. Поэтому для получения выходных напряжений менее 10 мВ применяют выносной экранированный делитель, присоединяемый к гнезду *Гн1* или *Гн2* коаксиальным кабелем со штекерными вилками *Ш1* и *Ш2* на концах. Между входным коаксиальным гнездом делителя *Гн5* и его корпусом включена последовательная цепь резисторов *R9—R13,* с которых на выходные коаксиальные гнезда делителя *Гн6—Гн9* поступают напряжения, уменьшенные соответственно в 10, 100, 1000 и 10 000 раз по сравнению со входным напряжением.

Генератор колебаний низкой частоты собран по схеме с общим эмиттером и индуктивной связью на транзисторе *Т3*, в коллекторную цепь которого включен контур, образованный обмотками *I* и *II* трансформатора *Тр1* и конденсатором *С9*. Напряжение положительной обратной связи поступает на базу транзистора *Т3* с обмотки *III* трансформатора *Тр1*, через которую подается также напряжение смещения, снимаемое со средней точки делителя *R7*, *R8*. Выбором сопротивлений резисторов делителя устанавливается такой режим транзистора *Т3*, при котором напряжение на его коллекторе имеет амплитуду около 1 В и форму, близкую к синусоидальной. Часть этого напряжения (300 мВ) подается с обмотки *II* трансформатора *Тр1* через конденсатор *С8* на гнездо *Гн3* и далее — через резистор *R3* на базу транзистора *Т2*.

Отдаваемая генератором низкой частоты мощность незначительна, так как он нагружен большим входным сопротивлением эмиттерного повторителя, последовательно с которым включен еще высокоомный резистор *R3*. Поэтому изменения нагрузки, присоединяемой к низкочастотному выходу — гнезду *Гн1*, не влияют на работу генератора. Коэффициент амплитудной модуляции высокочастотного напряжения на выходном гнезде *Гн2* задается сопротивлением резистора *R3* и практически не зависит ни от уровня выходного напряжения, ни от сопротивления нагрузки, присоединяемой к генератору сигналов. Для получения на выходном гнезде *Гн2* немодулированного высокочастотного напряжения нужно замкнуть между собой гнезда *Гн3*, *Гн4*. При этом конденсатор *С8* блокирует обмотку *II* трансформатора *Тр1*, колебания низкочастотного генератора срываются, и модуляция прекращается.

Источником питания генератора сигналов является элемент *Б1*, присоединяемый выключателем *В1*, который спарен с переменным резистором *R4*. Для обеспечения устойчивой работы при частичном разряде элемента *Б1* он заблокирован конденсатором *С1*, через который протекает высокочастотная составляющая коллекторного тока транзистора *Т1*. Поэтому возрастание внутреннего сопротивления элемента *Б1* в процессе его разряда незначительно влияет на работу высокочастотного генератора и прибора в целом.

Детали. Самодельными деталями генератора сигналов являются сменные катушки *L1*, *L2*, высокочастотный дроссель *Др1*, трансформатор *Тр1* и проволочный резистор *R13*.

Катушки поддиапазонов I—IV намотаны на полистироловых каркасах, которые заключены в броневые сердечники из феррита марки 600НН, составленные из двух чашек наружным диаметром 11 мм, высотой 5 мм каждая. Катушки подстраиваются цилиндрическими сердечниками из феррита марки 600НН диаметром 2,8 мм, длиной 14 мм. Для изготовления этих катушек пригодны каркасы и сердечники от контуров промежуточной частоты радиоприемников «Спидола», «ВЭФ-12» и т. п. Катушка поддиапазона V намотана на полистироловом каркасе наружным диаметром 5 мм с цилиндрическим подстроечным сердечником диаметром 2,8 мм, длиной 14 мм из феррита марки 100НН. Для нее можно использовать каркас с сердечником от катушки коротковолнового диапазона вещательного радиоприемника.

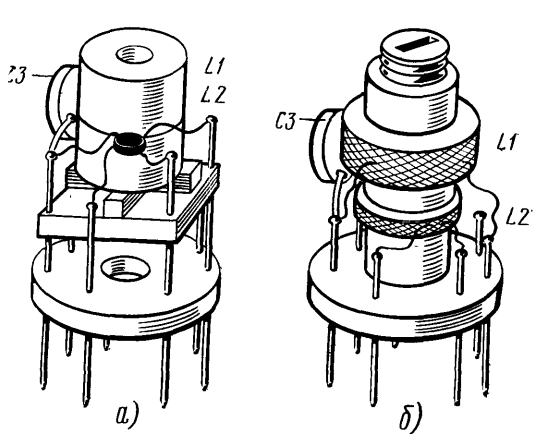


Рис. 31. Сменные катушки генератора сигналов: *а* — в броневых сердечниках; *б* — на цилиндрических каркасах

Для подключения сменных катушек к генератору сигналов служит разъем *1—5*, гнездовой частью которого является семигнездная ламповая панель, а ответная часть, конструктивно объединенная с катушкой, образована семью штырьками (рис. 31,*а*). Они изготовлены из отрезков провода диаметром 1 мм, которые в нагретом состоянии вдавлены в диск из оргстекла диаметром 20 мм, толщиной 3 мм, служащий опорной деталью для крепления катушки. Ее выводы и сменный конденсатор связи *С3* припаяны к продолжениям контактных штырьков. Намоточные данные и индуктивности описанных катушек приведены в табл. 2 (вариант А).

При отсутствии броневых сердечников катушки могут быть намотаны на полистироловых каркасах наружным диаметром 7,5 мм с карбонильными подстроечными сердечниками типа СЦР-1. Для этого пригодны каркасы и сердечники от контуров промежуточной частоты телевизоров типа УНТ-35, УНТ-47/59 и др. Намоточные данные и индуктивности таких катушек приведены в табл. 2 (вариант Б), а их конструктивное устройство показано на рис. 31,*б*.

Дроссель *Др1* содержит две секции намотки «универсаль» по 600 витков ПЭЛШО 0,12 на полистироловом каркасе наружным диаметром 7,5 мм с карбонильным сердечником типа СЦР-1. В качестве дросселя пригодна катушка «звенящего контура» от телевизоров типа УНТ-47/59 и др. Малогабаритный дроссель можно намотать на кольцевом сердечнике типоразмера К10×6×5 из феррита марки 1000НН проводом ПЭВ 0,05—ПЭВ 0,08 до заполнения окна.

Трансформатор *Тр1* намотан на таком же сердечнике. Его обмотки имеют одинаковое направление и содержат: *I* — 500, *II* — 400 и *III* — 100 витков ПЭВ 0,08. Можно использовать Ш-образный сердечник сечением 0,5—1 см^2 из электротехнической стали, сохранив данные обмоток, или применить подходящий выходной трансформатор от транзисторного радиоприемника, но в этих случаях потребуется изменить емкость конденсатора *С9*.

Конденсатор переменной емкости *С4* — с твердым диэлектриком. Можно использовать малогабаритные конденсаторы от транзисторных радиоприемников, соединив обе секции параллельно и включив последовательно с ними слюдяной конденсатор такой емкости, чтобы общая максимальная емкость равнялась 400 пФ. Например, при использовании конденсатора от приемника «Селга» с параллельно соединенными секциями, емкости которых изменяются в пределах 4—220 пФ, последовательно нужно включить конденсатор емкостью 5100 пФ.

Таблица 2

Данные катушек генератора сигналов

Поддиапазон	Частота, МГц	Катушка	Число витков	Провод	Индуктивность, мкГн	Примечание
			Вариант А			
I	0,1—0,32	*L1*	500	ПЭВ 0,09	6100	Внавал
		L2	12	ПЭВ 0,09	6	Поверх *L1*
II	0,32—1	*L1*	150	ПЭЛШО 0,12	600	Внавал
		L2	10	ПЭЛШО 0,12	4	Поверх *L1*
III	1—3,2	*L1*	65	ПЭЛШО 0,25	65	Внавал
		L2	6	ПЭЛШО 0,12	1	Поверх *L1*
IV	3,2—10	*L1*	22	ПЭЛШО 0,25	6	Внавал
		L2	5	ПЭЛШО 0,12	0,5	Поверх *L1*
V	10—30	*L1*	16	ПЭЛШО 0,35	0,8	Однослойная
		L2	7	ПЭЛШО 0,12	0,2	Поверх *L1*
			Вариант Б			
I	0,1—0,32	*L1*	1000	ПЭВ 0,09	6000	Внавал
		L2	100	ПЭВ 0,09	80	Рядом с *L1*
II	0,32—1	*L1*	250	ПЭЛШО 0,12	600	Внавал
		L2	25	ПЭЛШО 0,12	8	Рядом с *L1*
III	1—3,2	*L1*	80	ПЭЛШО 0,25	60	Внавал
		L2	8	ПЭЛШО 0,12	1	Поверх *L1*
IV	3,2—10	*L1*	30	ПЭЛШО 0,25	6	Однослойная
		L2	5	ПЭЛШО 0,12	0,4	Поверх *L1*
V	10—30	*L1*	9	ПЭЛШО 0,35	0,8	Однослойная
		L2	7	ПЭЛШО 0,25	0,4	Поверх *L1*

Примечания:

1. Вариант А: катушки поддиапазонов I—IV в броневых сердечниках из феррита марки 600НН, катушки поддиапазона V на полистироловом каркасе диаметром 5 мм.
2. Вариант Б: катушки на полистироловых каркасах диаметром 7,5 мм с подстроечными сердечниками типа СЦР-1.
3. В обоих вариантах все катушки имеют одинаковое направление намотки.

Конденсаторы постоянной емкости *С3* и *С8* типа К50-3 или К50-6, *С9*, типа МБМ или БМ, остальные — керамические. Постоянные резисторы *R1*—*R3*, *R5*—*R12* типа ВС-0,125 или УЛМ-0,12. Для изготовления резистора *R13* припаивают концы отрезка манганинового или константанового провода сопротивлением 1,1 Ом к выводам любого резистора типа ВС-0,125 или УЛМ-0,12 и, сложив провод вдвое, наматывают на резистор. При этом обе половины провода оказываются намотанными в противоположных направлениях (бифилярная намотка) для получения минимальной индуктивности резистора. Переменный резистор *R4* с выключателем *В1* малогабаритный, например, типа СПЗ—4в, СПЗ—4г и т. п. Его максимальное сопротивление может быть выбрано в пределах 470—1000 Ом.

Коаксиальные гнезда *Гн1*, *Гн2*, *Гн5*—*Гн9* от антенного входа телевизора. Им соответствуют штекерные вилки *Ш1* и *Ш2*, припаянные к концам соединительного коаксиального кабеля выносного делителя. Кабель длиной около 1 м может быть любой марки. Гнезда *Гн3*, *Гн4* обычной конструкции.

Транзисторы *Т1*, *Т2* типа П403А со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21Э} = 50 \div 80$ могут быть заменены на П403, П416, П416А, П416Б, П423. Транзистор *Т3* типа МП40 со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21Э} = 30 \div 40$ можно заменить на МП39—МП42. Элемент *Б1* типа 332.

Конструкция и монтаж. Генератор сигналов смонтирован в металлическом корпусе размерами 115×65×35 мм со съемной крышкой, которая служит верхней панелью (рис. 32). На ней расположены шкала настройки с визирным ди-

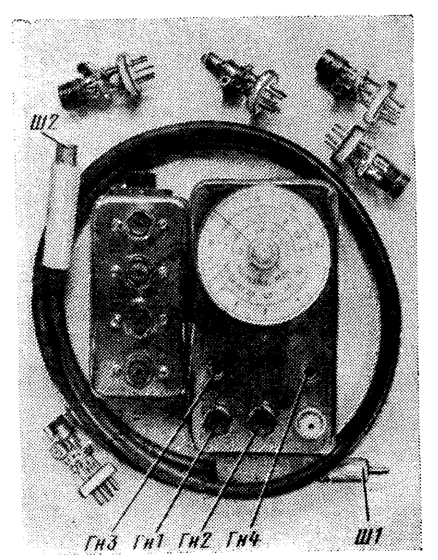


Рис. 32. Внешний вид генератора сигналов с делителем напряжения, кабелем и сменными катушками

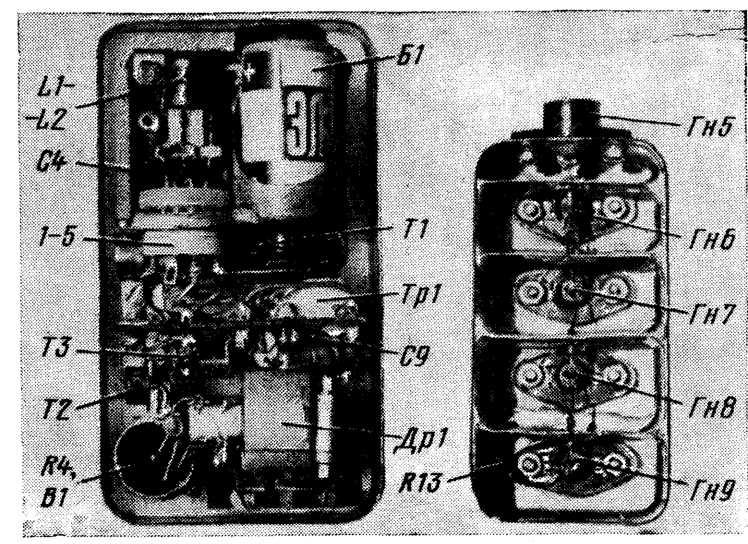


Рис. 33. Монтаж генератора сигналов и делителя напряжения

ском, посаженным на ось конденсатора переменной емкости *С4*, ручка переменного резистора *R4* с выключателем *В1* и гнезда *Гн1—Гн4*.

К крышке корпуса изнутри прикреплена монтажная плата размерами 110×60×2 мм из оргстекла или гетинакса, на которой размещена бо́льшая часть деталей (рис. 33). Конденсатор переменной емкости *С4* привинчен к плате. Над ним расположены элемент *Б1* и семигнездная ламповая панель, в которую вставляют сменные катушки. На ее лепестках распаяны выводы транзистора *Т1* и детали высокочастотного генератора. Конденсатор *С1* припаян между выводом подвижных пластин конденсатора *С4* и выводом эмиттера транзистора *Т1*.

Перпендикулярно основной плате установлена гетинаксовая плата размерами 55×28×2 мм, на которой смонтированы низкочастотный генератор и эмиттерный повторитель. Для распайки их деталей в отверстиях платы диаметром 1 мм укреплены опорные контакты из луженого провода.

Переменный резистор *R4* с выключателем *В1* и гнезда *Гн1—Гн4* установлены на основной плате. Детали разделительных фильтров распаяны на лепестках резистора *R4* и гнезд *Гн1, Гн2*. Ось конденсатора переменной емкости *С4* и вилки, вставляемые в гнезда *Гн3, Гн4*, не должны касаться крышки корпуса, для чего отверстия в ней сделаны несколько большего диаметра. Напротив, втулка переменного резистора *R4* и наружные части коаксиальных гнезд *Гн1, Гн2*, должны иметь надежный контакт с корпусом, что предотвращает излучение сигнала помимо выходных гнезд генератора.

Выносной делитель смонтирован в металлическом корпусе размерами 100×45×27 мм со съемной крышкой (см. рис. 32). Коаксиальное гнездо *Гн5* установлено на боковой стенке корпуса, а *Гн6—Гн9* — на крышке. Гнезда разделены экранирующими перегородками, припаянными к корпусу (см. рис. 33). В перегородках имеются отверстия, сквозь которые пропущены резисторы *R9—R12*.

Электрический монтаж генератора сигналов и выносного делителя выполнены, в основном, укороченными до 10—15 мм выводами деталей, на которые в необходимых случаях надеты изолирующие трубочки. Выводы транзисторов, во избежание пергерева при пайке, лучше не укорачивать, а изогнуть.

Налаживание. Для предварительного налаживания рекомендуется собрать генератор в виде временного макета на плате размерами 200×150 мм или больше. На ней укрепляют контакты из белой жести или луженого провода и устанавливают основные детали: конденсатор переменной емкости *С4*, разъем *1—5*, переменный резистор *R4*, гнезда *Гн1—Гн4* и элемент *Б1* — в таком порядке, как они изображены на схеме рис. 30. Это позволит сократить длину соединительных проводников и уменьшить вероятность ошибок при монтаже макета. Выводы деталей не укорачивают. При сборке макета и во время окончательного монтажа генератора сигналов необходимо правильно присоединять выводы катушек и трансформаторов, начала которых обозначены на схеме рис. 30 точками.

Напряжения на базах транзисторов относительно корпуса, примерные значения которых указаны на схеме рис. 30, можно измерить вольтметром с пределом 0,5 или 1 В и высоким входным сопротивлением, в частности, вольтметром (см. 22). При отсутствии подходящего вольтметра придется ограничиться измерением коллекторных токов. В некоторых случаях включение миллиамперметра в цепь коллектора транзистора *Т1* может нарушить работу высокочастотного генератора. Для предотвращения этого следует на время измерения заблокировать разрыв цепи слюдяным или керамическим конденсатором емкостью около 0,01 мкФ. На данном этапе налаживания допустимо отклонение электрических режимов от указанных на рис. 30 на ±30%. При бо́льших отклонениях, которые могут иметь место при применении транзисторов со статическими коэффициентами передачи тока, отличающимися от рекомендуемых, потребуется подбор сопротивлений резисторов *R1*, *R2* и *R7*.

Для регулировки генераторов высокой и низкой частоты желательно использовать электронный осциллограф, например, типа С1-20 или С1-5А (СИ-1). Эти осциллографы позволяют не только наблюдать форму электрических колебаний, но также измерять их период и амплитуду. Присоединив вертикальный вход осциллографа к гнездам *Гн3*, *Гн4*, получают осциллограмму двух-трех

периодов колебаний низкой частоты. С помощью калибратора длительности осциллографа или по известному масштабу его горизонтальной развертки определяют период колебаний и подбором емкости конденсатора *С9* устанавливают его равным 1 мс, что соответствует частоте 1000 Гц. Синусоидальная форма колебаний достигается подбором сопротивления резистора *R8* в пределах 5—15 кОм.

Для проверки генератора высокой частоты вставляют в разъем *1—5* сменную катушку поддиапазона I. Заземленный зажим вертикального входа осциллографа соединяют с гнездом *Гн4,* а незаземленный — через конденсатор емкостью 10—20 пФ с коллектором транзистора *Т1.* Регулируют усиление осциллографа по вертикали до получения размаха осциллограммы примерно на половину высоты экрана, а частоту развертки при ее внутренней синхронизации — до установления двух-трех периодов высокочастотных колебаний. Для приближения их формы к синусоидальной подбирают сопротивление резистора *R1.* Аналогичную проверку производят и на других поддиапазонах генератора, поскольку это позволяют параметры осциллографа. В частности, осциллограф типа С1-20 пригоден для наблюдения колебаний частотой до 20 Мгц, что позволяет наладить генератор на I—IV и частично V поддиапазонах, осциллограф типа С1-5А (СИ-1) — частотой до 10 МГц, т. е. на I—III и частично IV поддиапазонах.

Следующим этапом являются проверка эмиттерного повторителя и установка выходных напряжений генератора сигналов. Присоединив вертикальный вход осциллографа к гнезду *Гн1*, наблюдают осциллограмму низкочастотного напряжения. В случае проникновения к гнезду *Гн1* напряжения высокой частоты, что проявляется в размытости осциллограммы по вертикали, следует увеличить емкость конденсатора *С6* в два-три раза. Вращение ручки переменного резистора *R4* должно изменять низкочастотное напряжение на гнезде *Гн1* в пределах 0—100 мВ. Его значение измеряют с помощью калибратора амплитуды осциллографа или по известному масштабу вертикального отклонения. Подгонка максимального значения напряжения 100 мВ осуществляется подбором сопротивления резистора *R7* при установке движка переменного резистора *R4* в крайнее левое (по схеме рис. 30) положение.

Для измерения немодулированного высокочастотного напряжения на гнезде *Гн2* присоединяют к нему вертикальный вход осциллографа. Вставляют в разъем *1—5* сменную катушку поддиапазона I, замыкают между собой гнезда *Гн3, Гн4* и устанавливают конденсатор переменной емкости *С4* в среднее, а движок переменного резистора *R4* в крайнее левое (по схеме рис. 30) положения. Получив осциллограмму высокочастотного напряжения, измеряют его значение, которое доводят до 100 мВ подбором емкости сменного конденсатора *С3.* Аналогично подбирают емкость конденсатора *С3* и на других поддиапазонах. Подобранные конденсаторы припаивают к соответствующим сменным катушкам.

Для регулировки коэффициента амплитудной модуляции размыкают гнезда *Гн3*, *Гн4*, вставляют в разъем *1—5* сменную катушку поддиапазона I и изменяют частоту развертки осциллографа до получения осциллограммы, приведенной на рис. 34,*а*. Асимметрия, подобная изображенной на рис. 34,*б*, устраняется подбором сопротивления резистора *R2*. Измерив наибольший (*A*) и наименьший (*B*) размахи осциллограммы (рис. 34,*а*), вычисляют коэффициент амплитудной модуляции по формуле

$$m = \frac{A - B}{A + B} \cdot 100\% . \qquad (17)$$

Его номинальное значение $m=30\%$ устанавливают подбором сопротивления резистора *R9*. Это значение сохраняется и на других поддиапазонах, поскольку уровни подводимых к эмиттерному повторителю высокочастотных напряжений достаточно близки.

При невозможности воспользоваться осциллографом налаживание генератора сигналов производят с помощью промышленного радиоприемника с градуированной шкалой. Приемник, имеющий магнитную антенну, нужно повернуть так, чтобы она была направлена вретикально. Это значительно ослабит прием мешающих сигналов радиостанций.

Генератор низкой частоты проверяют, соединив гнезда *Гн3*, *Гн4* со входом звукоснимателя приемника. При переключении входа звукоснимателя к гнезду *Гн1* громкость звука должна регулироваться переменным резистором *R4*. Если наблюдаются искажения звука, то их устраняют, подбирая сопротивление резистора *R8*. Приближенно определить частоту колебаний можно, сравнивая

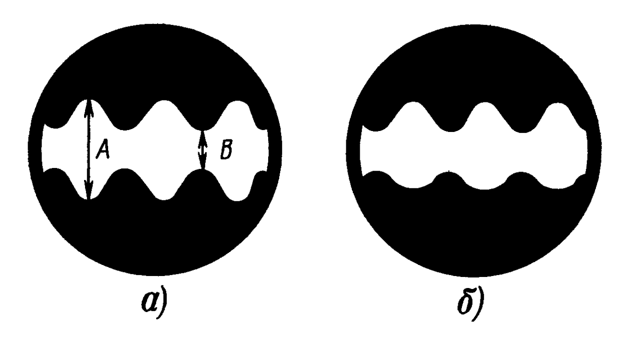


Рис. 34. Примерные осциллограммы модулированного напряжения:
а — при неискаженной модуляции; *б* — при модуляции с искажениями

высоту звука с тоном какого-либо музыкального инструмента, например фортепиано. Для подготовки частоты нужно изменять емкость конденсатора *C9* до приближения тона звука к тону «си» второй октавы (около 990 Гц).

Измерение выходных напряжений низкой частоты возможно с помощью промышленного милливольтметра, например, типа В3-3 (МВЛ-3) или милливольтметра, описанного на с. 27—30. Напряжение 300 мВ на гнездах *Гн3*, *Гн4* устанавливают подбором сопротивления резистора *R7*, а максимальное напряжение 100 мВ на гнезде *Гн1* — подбором сопротивления резистора *R3* при установке движка переменного резистора *R4* в крайнее левое (по схеме рис. 30) положение.

Генератор высокой частоты проверяют, соединив отрезком коаксиального кабеля антенный вход приемника с базой транзистора *Т2*. Настройка на частоту генератора отмечается по характерному шипению, воспроизводимому громкоговорителем приемника при замкнутых между собой гнездах *Гн3*, *Гн4*. Если же они разомкнуты, может прослушиваться слабый звук с частотой модуляции. В дальнейшем, во избежание ложных настроек приемника вследствие его перегрузки, ослабляют сигнал выносным делителем, соединенным с гнездом *Гн2*. Антенный вход приемника подключают к одному из гнезд *Гн6*—*Гн9*, для того, чтобы он не перегружался.

Искажения формы высокочастотных колебаний можно ориентировочно оценить по амплитудам его гармоник (колебаний, частота которых кратна основной). Например, если на длинноволновом (ДВ) диапазоне приемника слышен сигнал основной частоты 0,2 МГц, то ее гармоники могут приниматься на частотах 0,4 МГц (ДВ), 0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6 МГц (средневолновый диапазон — СВ). При малых искажениях формы высокочастотного напряжения гармоники должны быть значительно слабее основной частоты, а некоторые из них могут даже не прослушиваться. Если же они слышны громко, то для их ослабления следует подобрать сопротивление резистора *R1*. Наличие модулированного высокочастотного сигнала и уровень его гармоник проверяют и на других поддиапазонах генератора сигналов.

Измерение и подгонка высокочастотного напряжения на гнезде *Гн2* возможны только с помощью электронного милливольтметра, например, типа В3-4 (МВЛ-4) и т. п. Для приближенных измерений пригоден вольтомметр (см. с. 22—27). Замкнув между собой гнезда *Гн3*, *Гн4* и установив движок переменного резистора *R4* в крайнее левое (по схеме рис. 30) положение, подбирают емкости сменных конденсаторов *C3* так, чтобы высокочастотное напряжение на гнезде *Гн2* равнялось 100 мВ на всех поддиапазонах генератора сигналов.

На этом предварительное налаживание заканчивается, и детали генератора сигналов переносят с макета на монтажные платы. После проверки монтажа и работоспособности генератора, помещенного в его корпус, переходят к градуировке шкалы.

Градуировка. Поддиапазоны частот генератора сигналов несколько шире, чем указано в табл. 2, и перекрываются с достаточным запасом. Например, поддиапазон I перекрывает частоты 0,095—0,33 МГц, поддиапазон II - 0,31—1,05 МГц и т. д. Благодаря этому установка граничных частот обеспечивается на всех поддиапазонах, несмотря на неизбежный разброс собственных емкостей катушек, емкостей монтажа и других трудноподдающихся учету факторов.

Для установки границ поддиапазона I вставляют в разъем *1—5* его сменную катушку, закрывают корпус генератора и уменьшают емкость конденсатора *C4* до минимума. Находят модулированный сигнал на участке 0,31—0,35 МГц ДВ диапазона приемника, антенный вход которого соединен коаксиальным кабелем с одним из гнезд *Гн6—Гн9* выносного делителя. Уменьшают напряжение переменным резистором *R4* так, чтобы приемник не перегружался, и определяют по его шкале частоту сигнала.

Постепенно увеличивая емкость конденсатора *C4*, одновременно перестраивают приемник в сторону уменьшения частоты вплоть до конца его ДВ диапазона (приблизительно 0,15 МГц). Для приема сигнала при дальнейшем уменьшении частоты настраивают приемник на частоту 0,3 МГц и обнаруживают вторую гармонику генератора. Продолжают увеличивать емкость конденсатора *C4* и перестраивать приемник до получения наименьшей частоты сигнала при максимальной емкости. Отсчитанная по шкале приемника минимальная частота второй гармоники должна равняться 0,19 МГц или менее, что соответствует основной частоте 0,095 МГц или меньше. При необходимости в корректировке частоты поворачивают подстроечный сердечник сменной катушки на четверть оборота, закрывают корпус генератора сигналов и вновь проверяют его частоту. Эти операции повторяют до установки частоты 0,095 МГц. Затем возвращаются к высокочастотной границе поддиапазона I и проверяют максимальную частоту, которая должна равняться 0,33 МГц или несколько больше. В последнем случае можно довести частоту до 0,33 МГц, присоединив параллельно катушке *L1* поддиапазона I конденсатор емкостью 5—10 пФ.

После установки границ поддиапазона I производят на нем градуировку временно́й шкалы, изготовленной из плотной бумаги, которую прикрепляют к верхней панели генератора сигналов. Перестраивая генератор и приемник, как описано выше, наносят на шкалу отметки и надписи, соответствующие частотам 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3 МГц, а затем отметки без надписей соответствующие частотам 0,125; 0,175; 0,225 и 0,275 МГц.

Аналогично осуществляются установка границ и градуировка шкалы на поддиапазонах II—IV, причем не перекрываемые радиовещательными приемниками частоты 0,4—0,52 МГц градуируют по их вторым гармоникам (0,8—1,04 МГц). На коротковолновых (КВ) диапазонах приемника из-за его недостаточной избирательности по зеркальному каналу возможен прием сигнала в двух точках шкалы. Правильной является настройка приемника на более высокую частоту из двух возможных, при этом частота гетеродина приемника выше частоты сигнала, поступающего от генератора.

Градуировка генератора сигналов на поддиапазоне V вызывает затруднения, так как большинство радиовещательных приемников не рассчитано на прием частот свыше 12,1 МГц. Возможна градуировка с помощью специального КВ приемника или по гетеродинному частотомеру, например, типа Ч4-1 (526У, 527). Если такой возможности не представится, то придется ограничиться поддиапазонами I—IV, тем более, что генерируемые на них частоты достаточны для большинства измерений в радиолюбительской практике.

Вообще, градуировка генератора сигналов по радиоприемнику довольно груба и трудоемка. Процесс градуировки чрезвычайно упрощается и ускоряется при наличии электронно-счетного (цифрового) частотомера, например, типа Ч4-22, Ф5[illegible]1 и др. Электронно-счетные частотомеры имеются во многих лабораториях, и если удастся ими воспользоваться, градуировка может быть выполнена быстро и с большой точностью.

По окончании градуировки отметки и надписи временно́й шкалы переносят с помощью чертежных инструментов на постоянную (рабочую) шкалу, выполняемую тушью на плотной бумаге. Шкалу крепят к верхней панели генератора сигналов и защищают наличником из тонкого оргстекла. На оси конденсатора переменной емкости *C4* укрепляют ручку с диском из оргстекла, на обеих сторонах которого в диаметральном направлении прорезаны тонкие штрихи,

заполненные тушью или краской. Лучшие результаты могут быть получены при изготовлении шкалы фоторепродукционным способом (см. с. 98).

Переменный резистор *R4* также желательно снабдить шкалой с указателем или нанести деления на ручку резистора. Для ориентировочной оценки выходного напряжения достаточно 10 делений, цена которых равна 10 мВ/дел.

ГЕНЕРАТОР ДЛЯ НАСТРОЙКИ ПРИЕМНИКОВ

Генератор предназначен для проверки и настройки радиоприемников в диапазонах ДВ и СВ, а также усилителей низкой частоты. Он генерирует колебания низкой частоты 400 Гц и амплитудно-модулированные ею высокочастотные колебания в поддиапазонах 150—400 кГц и 520—1600 кГц. Генератор питается от одного элемента типа 332, потребляемый ток не превышает 1 мА. Габаритные размеры генератора 130×70×50 мм, масса 300 г.

Принципиальная схема. Прибор состоит из двух генераторов: низкочастотного на транзисторах *T1*, *T2* и высокочастотного на транзисторе *T3* (рис. 35).

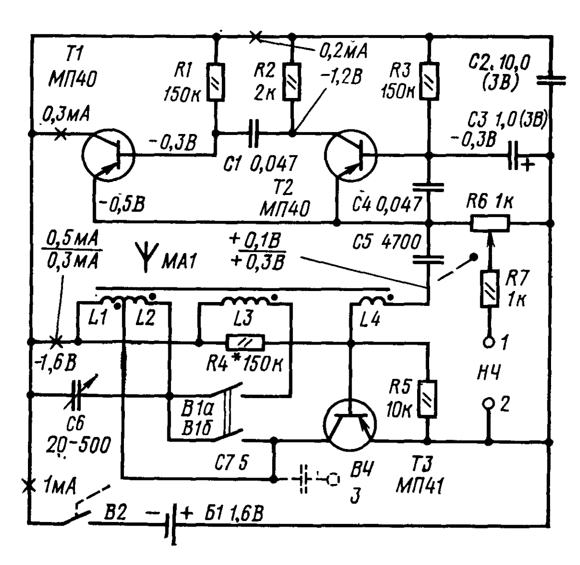


Рис. 35. Принципиальная схема генератора для настройки приемников (напряжения измерены относительно положительного полюса источника питания)

Генератор низкой частоты представляет собой мультивибратор с эмиттерной связью. Эмиттерный повторитель на транзисторе *T1* имеет малое выходное сопротивление, согласующееся с низкоомной нагрузкой — переменным резистором *R6* и малым входным сопротивлением усилителя по схеме с общей базой на транзисторе *T2*. Напряжение с его коллектора поступает на базу транзистора *T1*, благодаря чему создается положительная обратная связь, и в мультивибраторе возбуждаются колебания, форма которых близка к прямоугольной, а частота зависит от емкостей конденсаторов *C1* и *C4*. Большую часть периода оба транзистора, *T1*, *T2*, заперты, что повышает экономичность мультивибратора и прибора в целом. Часть низкочастотного напряжения с движка переменного резистора *R6* через резистор *R7*, ослабляющий влияние нагрузки на генератор, подается на выходные зажимы *1*, *2*. Напряжение низкой частоты с эмиттера транзистора *T1* через конденсатор *C5* поступает в цепи высокочастотного генератора и модулирует по амплитуде его колебания.

Генератор высокой частоты собран на транзисторе *T3* по схеме с общим эмиттером и индуктивной связью. При работе на ДВ поддиапазоне переключатели *B1а*—*B1б* разомкнуты, и колебательный контур генератора образован кон-

денсатором переменной емкости *С6* и катушками *L1—L2* магнитной антенны *МА1*. Коллектор транзистора *Т3* подключен к точке соединения этих катушек, и генератор работает с неполным включением контура в коллекторную цепь, что позволяет согласовать малое выходное сопротивление транзистора с большим резонансным сопротивлением контура. Напряжение положительной обратной связи, индуцирующееся в катушке *L4*, приложено между базой и (через конденсаторы *С3—С5*) эмиттером транзистора *Т3*.

К эмиттерному переходу транзистора *Т3* приложено также низкочастотное напряжение, поступающее через конденсатор *С5*. Вследствие этого высокочастотное напряжение промодулировано по амплитуде низкой частотой. Делитель напряжения *R5*, *R4* создает такой режим транзистора *Т3*, при котором после возбуждения высокочастотных колебаний напряжение на базе становится положительным. Это уменьшает влияние модулирующего напряжения на емкость эмиттерного перехода транзистора *Т3* и ослабляет паразитную частотную модуляцию генерируемого напряжения.

При работе на СВ поддиапазоне переключатели *В1а—В1б* замкнуты, катушка *L2* закорочена, а параллельно катушке *L1* присоединена катушка *L3*. Индуктивность контура уменьшается приблизительно в 10 раз, а его добротность и резонансное сопротивление снижаются. Тем не менее, генерация поддерживается благодаря полному включению контура в цепь коллектора транзистора *Т3* и возрастанию коэффициента трансформации напряжения, индуцируемого в катушке *L4*, вследствие уменьшения числа витков контурной катушки. Закорачивание катушки *L2* позволяет избежать образования ее индуктивностью и распределенной емкостью паразитного отсасывающего контура, который при сильной связи с катушкой *L1* нарушил бы работу генератора в СВ поддиапазоне.

Как показывает практика настройки радиоприемников, их параметры нередко изменяются при подключении к ним соединительных проводников от генератора сигналов. В особенности это относится к малогабаритным транзисторным приемникам прямого усиления, которые из-за тесного монтажа и большого усиления на частоте сигнала часто склонны к самовозбуждению. Описываемый генератор можно связывать с приемниками без соединительных проводников, приближая магнитную антенну *МА1* к соответствующим катушкам приемника. Изменение расстояния между ними позволяет регулировать индуктивную связь в широких пределах. При желании можно создать высокочастотный выход с емкостной связью, добавив конденсатор *С7* и зажим *3*, изображенные на схеме рис. 35 штриховыми линиями. Достаточно сильная связь получается также при наматывании на корпус генератора нескольких витков изолированного провода, конец которого присоединяют к приемнику.

Генератор питается от элемента *Б1*, который присоединяется выключателем *В2*, спаренным с переменным резистором *R6*. Источник питания заблокирован конденсатором большой емкости *С2*.

Детали. Магнитная антенна *МА1* намотана на стержне диаметром 8 мм, длиной 115 мм из феррита марки 600НН (рис. 36). Катушка *L* содержит 80, *L2* — 20+80, *L3* — 50 витков провода ЛЭШО 7×0,07, а катушка *L4* — 15 витков ПЭЛШО 0,12. Катушки *L1* и *L2* наматываются способом «универсаль» или «внавал», *L3* — двухслойная, *L4* — однослойная. Катушка *L3* и меньшая часть катушки *L2* намотаны на бумажных гильзах, которые для регулировки индуктивности могут перемещаться вдоль ферритового стержня. Все катушки намотаны в одинаковом направлении. Их начала, обозначенные на рис. 35 точками, должны быть помечены для правильного присоединения катушек.

В качестве конденсатора *С6* можно использовать конденсаторы переменной емкости от транзисторных приемников, соединив обе секции параллельно. Пе-

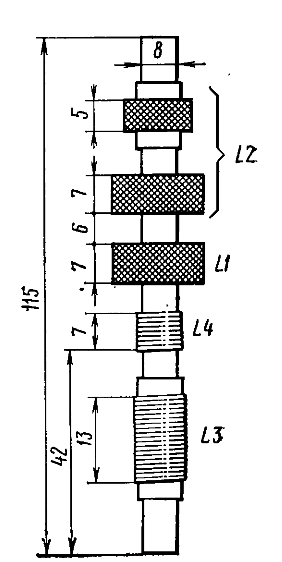


Рис. 36. Магнитная антенна генератора

реключатель *В1а—В1б* самодельный. Он подобен кнопке, показанной на рис. 23,*а*, но отличается от нее фиксатором положений. Можно применить переключатель типа ТП1-2.

Переменный резистор *R6* с выключателем *В2* малогабаритный, например, типа СП3-4в, СП3-4г и т. п. Постоянные резисторы типа УЛМ-0,12 или ВС-0,125. Конденсаторы *С1* и *С4* типа БМ или МБМ, *С2* и *С3* типа К50-3, К50-6 или К50-9, *С5* типа КДС или КСО. Емкости электролитических конденсаторов *С2* и *С3* могут быть увеличены в несколько раз.

Транзисторы *Т1*, *Т2*, могут быть типов МП39—МП42 со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21Э}=15\div25$. Транзистор *Т3* с $h_{21Э}=30\div50$ типа МП41—МП42. В качестве *Т3* можно применить транзисторы типа П403, П416, П416А, П416Б, П423, уменьшив число витков катушки обратной связи *L4* до 5—8. Зажимы *1*, *2* могут быть заменены гнездами. Элемент *Б1* типа 332.

Конструкция и монтаж. Все детали генератора размещают на гетинаксовой плате размерами 124×64×2 мм (рис. 37), на обратной стороне которой расположены соединительные проводники. Ферритовый стержень магнитной антенны *МА1* прикреплен к плате стойками из оргстекла. Длина выводов катушек *L2* и *L3* позволяет свободно перемещать их вдоль стержня. Подвижные пластины конденсатора *С6* соединены с катушками *L1* и *L3*, неподвижные — с катушкой *L2*.

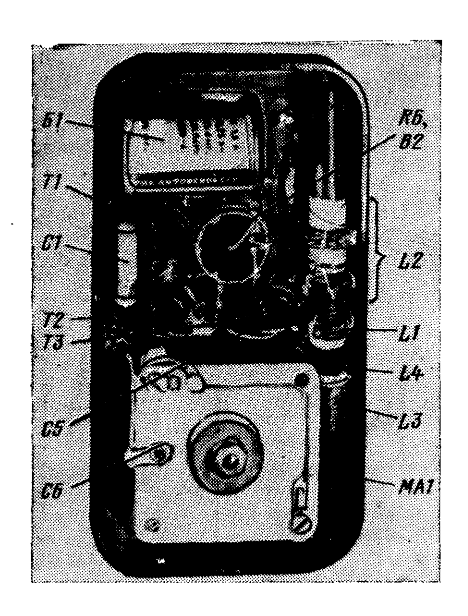


Рис. 37. Монтаж генератора

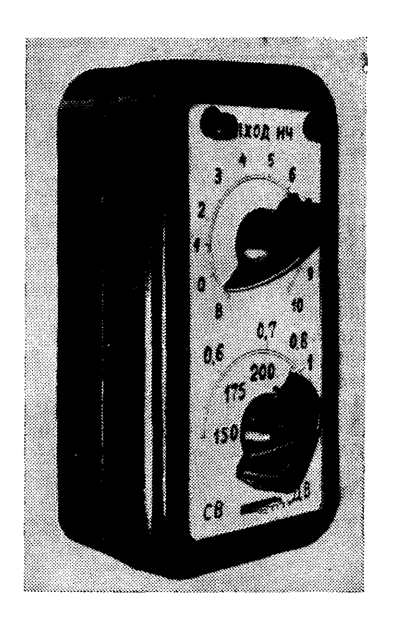


Рис. 38. Внешний вид генератора

Генератор смонтирован в пластмассовом корпусе размерами 130×70×38 мм. Применение в данном приборе металлического корпуса недопустимо, так как он экранировал бы поле магнитной антенны, т. е. высокочастотное излучение генератора. На лицевой панели генератора (рис. 38) расположены зажимы *1*, *2* выхода низкочастотного напряжения, ручка его регулировки и включения генератора, надетая на ось переменного резистора *R6*, ручка настройки — на оси конденсатора переменной емкости *С6* и ручка переключателя поддиапазонов *В1а—В1б*.

Налаживание и регулировка. Примерные значения постоянных напряжений и токов в цепях генератора указаны на схеме рис. 35: верхние числа — при работе на ДВ поддиапазоне, нижние — на СВ. Для измерения указанных на схеме

напряжений (кроме напряжения —1,6 В) необходим вольтметр с пределом 0,5 или 1 В и высоким входным сопротивлением, например, вольтомметр (см. с. 22—27). При необходимости подбора режима транзисторов можно изменять сопротивления резисторов *R1*, *R3* и *R4*.

Генератор градуируют с помощью промышленного радиоприемника, желательно с магнитной антенной. Приемник располагают на расстоянии 20—30 см от генератора так, чтобы оси их магнитных антенн находились на одной прямой. Если же приемник не имеет магнитной антенны, то в его антенное гнездо включают отрезок провода длиной 20—30 см, конец которого приближают к генератору. Переключив приемник и генератор на ДВ поддиапазон, устанавливают конденсатор переменной емкости *С6* в среднее положение и настраивают приемник до появления звукового тона модуляции. Изменяя положение генератора, ослабляют его сигнал, чтобы приемник не перегружался.

Увеличивая емкость конденсатора *С6* и перестраивая приемник, достигают низкочастотной границы ДВ поддиапазона. Устанавливают конденсатор *С6* в положение, близкое к максимальной емкости (с запасом примерно в 10% шкалы), настраивают приемник на частоту 150 кГц и добиваются приема сигнала перемещением гильзы с катушкой *L2* вдоль ферритового стержня магнитной антенны *MA1*. Затем проверяют перекрытие ДВ поддиапазона, перестраивая генератор и приемник к его высокочастотной границе. Частота 400 кГц должна генерироваться при не полностью выведенных (с запасом около 10% шкалы) подвижных пластинах конденсатора *С6*.

Переключив приемник и генератор на СВ поддиапазон, настраивают приемник на частоту 525 кГц и устанавливают емкость конденсатора *С6*, близкую к максимальной (10% от начала шкалы). Перемещая гильзу с катушкой *L3* вдоль ферритового стержня, добиваются приема сигнала. Затем проверяют перекрытие СВ поддиапазона — до частоты 1600 кГц.

В некоторых случаях, из-за разброса магнитных проницаемостей ферритовых стержней, изменение индуктивности катушек путем их перемещения может оказаться недостаточным, и потребуется отматывание или доматывание нескольких витков. После установки границ поддиапазонов гильзы с подвижными катушками закрепляют на ферритовом стержне клеем или воском.

Генератор градуируют при слабой связи с приемником. Устанавливая на шкале приемника частоты 150, 175, 200, ..., 400 кГц ДВ поддиапазона, настраивают на них генератор и наносят на его временную шкалу соответствующие отметки. На СВ поддиапазоне отметки делают на частотах 600, 700, 800, ..., 1600 кГц. Процесс градуировки упрощается при наличии электронно-счетного частотомера.

При начальной емкости конденсатора *С6* менее 20 пФ ДВ поддиапазон может быть расширен до частоты 465 кГц, необходимой для проверки и настройки тракта промежуточной частоты супергетеродинных приемников. Для получения отметки на этой частоте генератор слабо связывают со входом усилителя промежуточной частоты используемого при градуировке приемника, в котором, во избежание ложных настроек, выключен гетеродин.

По окончании градуировки шкалу вычерчивают тушью на плотной бумаге, прижимаемой к панели генератора наличником из тонкого оргстекла (см. рис. 38). Переменный резистор *R6* также снабжен шкалой с отметками 0, 1, ..., 10 для ориентировочной оценки низкочастотного напряжения на зажимах *1*, *2*.

ГЕНЕРАТОР-ПРОБНИК

Генератор-пробник предназначен для проверки и налаживания усилителей, радиоприемников и телевизоров. На низкочастотном выходе генератора получаются импульсы длительностью 0,5 мс с периодом повторения 1 мс, амплитудой 100 мВ. В спектре напряжения содержатся колебания основной частоты 1000 Гц и ее гармоник. Связь с объектом емкостная. На высокочастотном выходе получаются радиоимпульсы длительностью 0,5 мс с периодом повторения 1 мс, заполненные синусоидальными колебаниями частотой 1,5 МГц, амплитудой 300 мВ. В спектре напряжения присутствуют гармоники частотой до 230 МГц, модулированные по амплитуде частотой 1000 Гц. Связь с объектом

емкостная или индуктивная. Габаритные размеры генератора-пробника: длина 205 мм, диаметр 36 мм. Масса 150 г.

Принципиальная схема. Высокочастотный генератор пробника собран по трехточечной схеме с индуктивной связью на транзисторе *T1* (рис. 39). Колебательный контур образован катушкой *L2* магнитной антенны *MA1*, ее собствен-

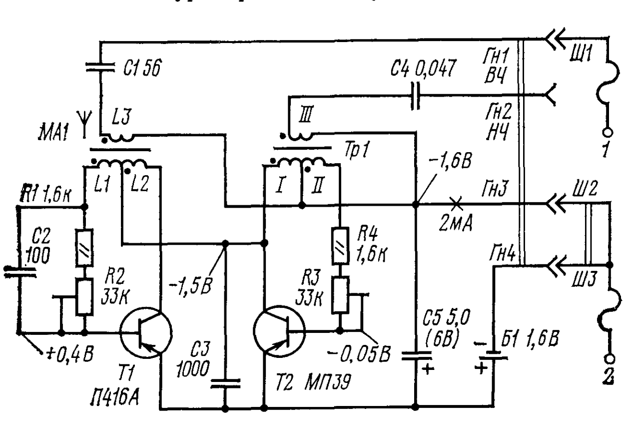


Рис. 39. Принципиальная схема генератора-пробника (напряжения измерены относительно положительного полюса источника питания)

ной емкостью и емкостью коллектора перехода транзистора *T1*. Катушка обратной связи *L1* соединена с базой транзистора *T1* через цепь *C2R1R2*. Электрический режим генератора устанавливается подстроечным резистором *R2*. Высокочастотное напряжение с катушки связи *L3* через конденсатор *C1* поступает на выходное гнездо *Гн1*. В него вставляется штекер *Ш1* с гибким проводником, на другом конце которого имеется зажим *1*, соединяемый с объектом. Последний может быть связан с генератором также индуктивно — через поле рассеяния магнитной антенны *MA1*.

Высокочастотное напряжение модулируется по амплитуде низкочастотным генератором на транзисторе *T2*. Этот генератор также собран по трехточечной схеме с индуктивной связью. Его контур образован обмоткой *I* трансформатора *Тр1* и конденсатором *C3*, который одновременно является блокировочным для токов высокой частоты. Обмотка обратной связи *II* соединена с базой транзистора *T2* через резистор *R3*, *R4*. Подстроечный резистор *R3* позволяет регулировать частоту генератора. Низкочастотное напряжение с обмотки *III* трансформатора *Тр1* через конденсатор *C4* поступает на выходное гнездо *Гн2*, в которое может переставляться штекер *Ш1* с проводником и зажимом *1*.

Зажим *2* соединен гибким проводником со штекерами *Ш2*, *Ш3*, которые вставляются соответственно в гнезда *Гн3*, *Гн4*. Перемычка между этими штекерами служит для включения источника питания — элемента *Б1*, который блокирован конденсатором *C5*.

Конструкция и детали. Генератор-пробник помещен в цилиндрический корпус диаметром 36 мм, длиной 205 мм из ударопрочного полистирола со съемной крышкой (рис. 40). В корпус вставлена гетинаксовая плата размерами 200×25×3 мм, на которой смонтированы все детали генератора-пробника. Электрические соединения сделаны лужеными непересекающимися проводниками, приклеенными клеем БФ-2 к обратной стороне платы.

В генераторе-пробнике можно применить транзисторы: *T1* — типа П403, П416, П423; *T2* — типа МП39—МП42, МП25—МП26.

Магнитная антенна *MA1* намотана на бумажной гильзе, надетой на стержень диаметром 8 мм, длиной 65 мм из феррита марки 400НН. Катушки *L1*, *L2* содержат по 50 витков ПЭВ 0,23, *L3* — 10 витков ПЭВ 0,23 на расстоянии 5 мм от катушки *L1*. Трансформатор *Тр1* — выходной из набора для карманного приемника: сердечник Ш4×8, обмотки *I—II* — 450+450 витков ПЭЛ 0,09, *III* — 100 витков ПЭЛ 0,23. Пригодны малогабаритные выходные трансформаторы от транзисторных радиоприемников.

Подстроечные резисторы *R2*, *R3* типа СПЗ-16, постоянные резисторы *R1* и *R4* типа ВС-0,125 или УЛМ-0,12. Конденсаторы *C1*, *C2* типа КТК; *C3* типа МБМ или БМ; *C4* типа КДС или КЛС; *C5* типа К50-3 или К50-6, К50-9. Элемент *Б1* типа 332. В качестве гнезд *Гн1—Гн4* использована восьмигнездная ламповая панель. Штекеры *Ш1* и *Ш2*, *Ш3* изготовлены из восьмиштырькового цоколя от негодной радиолампы. Зажимы *1*, *2* — типа «крокодил».

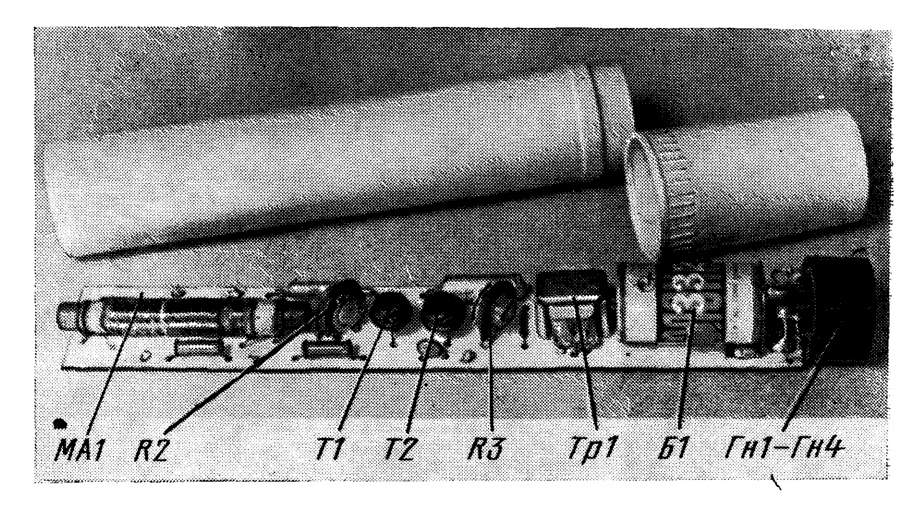


Рис. 40. Генератор-пробник и его корпус

Налаживание генератор-пробника желательно производить с помощью телевизора, который предварительно настраивают до получения устойчивого изображения телевизионной программы или испытательной таблицы на одном из каналов. Отключив антенну от входа телевизора, соединяют его с зажимами *1*, *2*, которые, в свою очередь, соединены с гнездами *Гн1* и *Гн3*, *Гн4*. Переключив телевизор на 1-й канал и изменяя сопротивление подстроечного резистора *R3*, получают на экране 20 черных и 20 белых горизонтальных полос. Поскольку предварительно была установлена частота кадровой развертки 50 Гц, то при 20 пáрах полос частота модуляции равна 20·50 Гц=1000 Гц. Одновременно громкоговоритель должен воспроизводить звук высокого тона. Наличие полос и звука проверяют на всех каналах метрового диапазона. Несколько увеличить уровень сигнала на высших каналах можно, изменяя сопротивление резистора *R2*.

При отсутствии телевизора можно налаживать генератор-пробник, связав его с антенным входом радиоприемника, который должен воспроизводить тон модуляции на всех диапазонах без провалов с примерно одинаковой громкостью.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ, ЕМКОСТИ И ИНДУКТИВНОСТИ

МОСТОВЫЕ И РЕЗОНАНСНЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Мостовые методы позволяют измерять емкости и индуктивности. В упрощенной схеме моста (рис. 41,*а*) измеряемая индуктивность L_x присоединена к зажимам *1*, *2* в плече измерения, а образцовая катушка индуктивности *L1* включена в плечо сравнения. Плечи отношения образованы резисторами *R2*—

R4. Индикатор равновесия — милливольтметр *ИП1* или телефон *Тф1* — включен в одну из диагоналей моста, а на другую через зажимы *3, 4* и выключатель *В1* подается переменное напряжение *U*, обычно частотой около 1 кГц.

Особенностью моста является переменный резистор *R1*, служащий для уравновешивания активных составляющих полных сопротивлений в плечах измерения и сравнения. Мост уравновешивается сначала грубо — переменным резис-

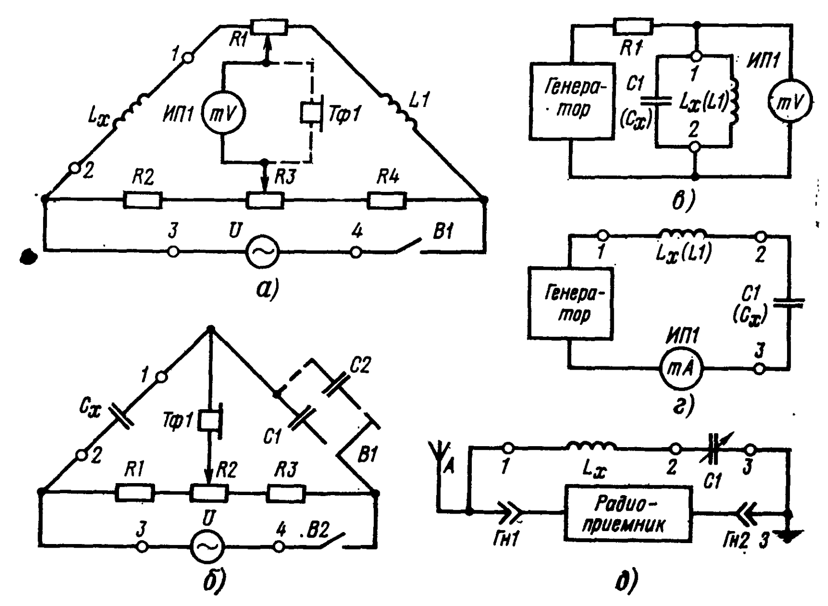


Рис. 41. Измерение индуктивности и емкости:
а, б — методом моста; *в, г* — резонансным методом с помощью измерительного генератора и индикатора; *д* — то же, с помощью радиоприемника

тором *R3*, а затем более точно — поочередной регулировкой резисторов *R1* и *R3* до получения минимальных показаний индикатора. Искомая индуктивность равна

$$L_x = L_1 \frac{R'_3 + R_2}{R''_3 + R_4}, \qquad (18)$$

где L_1 — индуктивность катушки *L1*; R'_3 — сопротивление левого (по схеме рис. 41,*а*) участка переменного резистора *R3*; R''_3 — его правого (по схеме) участка.

Схема моста для измерения емкостей (рис. 41,*б*) аналогична предыдущей. Для расширения пределов измерения в плечо сравнения могут с помощью переключателя *В1* вводиться емкости образцовых конденсаторов *С1, С2*. После уравновешивания моста переменным резистором *R2* по минимальной громкости звука в телефоне *Тф1* искомая емкость C_x равна

$$C_x = C_1 \frac{R''_2 + R_3}{R'_2 + R_1}, \qquad (19)$$

где C_1 — емкость образцового конденсатора; R'_2 — сопротивление левого (по схеме рис. 41,*б*); R''_2 — правого (по схеме) участков переменного резистора *R2*.

Практические конструкции мостов переменного тока обычно позволяют измерять индуктивности и емкости, а некоторые — также и сопротивления. Схемы таких универсальных мостов содержат соответствующие образцовые детали, включаемые в плечо сравнения, в зависимости от вида и предела изме-

рений, с помощью переключателей. Часто мосты выполняют со встроенными генератором переменного напряжения и индикатором равновесия.

Резонансный метод используется, преимущественно, для измерения емкостей и индуктивностей, значения которых соответствуют радиодиапазону частот. На более низких частотах этот метод менее эффективен из-за малой добротности колебательных контуров и трудности изготовления образцовых катушек большой индуктивности.

Схема измерения индуктивности (рис. 41,*в*) содержит генератор регулируемой частоты *f*, связанный с ним через резистор *R1* (или конденсатор малой емкости) параллельный колебательный контур, который состоит из емкости образцового конденсатора *C1* и измеряемой индуктивности L_x, и индикатор резонанса — милливольтметр *ИП1*. Генератор перестраивают до возникновения в контуре резонанса токов, отмечаемого по максимуму показаний индикатора. Результат измерения вычисляется по формуле

$$L_x = 25\,330/f^2C_1, \qquad (20)$$

где L_x — искомая индуктивность, мкГн; *f* — резонансная частота, МГц; C_1 — емкость образцового конденсатора, пФ.

Схема измерения емкости аналогична, но контур состоит из измеряемой емкости C_x и образцовой индуктивности L_1. Результат рассчитывается по формуле

$$C_x = 25\,330/f^2L_1, \qquad (21)$$

где C_x — искомая емкость, пФ; *f* — резонансная частота, МГц; L_1 — индуктивность образцовой катушки *L1*, мкГн.

Реже применяют схему с последовательным колебательным контуром (рис. 41,*г*). Для индикации резонанса напряжений в контуре L_xC1 (или $L1C_x$) необходим миллиамперметр переменного тока *ИП1*, а генератор регулируемой частоты *f* должен иметь малое выходное сопротивление. В некоторых случаях индикатором может служить маломощная лампа накаливания. Значения измеряемых величин рассчитываются по формулам (20) и (21).

Резонансные измерения можно производить также с помощью радиоприемника (рис. 41,*д*). При настройке последовательного контура L_xC1 на частоту принимаемой радиостанции *f* его сопротивление уменьшается, шунтируя антенный вход приемника. Резонанс отмечается по ослаблению или прекращению приема радиостанции. Искомую индуктивность L_x вычисляют по формуле (20). Для измерения неизвестной емкости C_x ее присоединяют параллельно конденсатору *C1* и уменьшают его емкость до возобновления резонанса, т. е. до повторного ослабления приема станции. Очевидно, искомая емкость равна уменьшению емкости конденсатора *C1*. Пределы измерения емкости таким методом ограничены минимальной и максимальной емкостями конденсатора *C1*.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОСТ

Мост предназначен для измерения сопротивлений, емкостей и индуктивностей на переменном токе частотой 1 кГц. Поддиапазоны измерения сопротивлений: I — 0,1—10 Ом, II — 10—1000 Ом, III — 1—100 кОм, IV—0,1—10 МОм; индуктивностей: V — 10—1000 мкГн, VI—1—100 мГн, VII—0,1—10 Гн; емкостей: VIII — 10—1000 пФ, IX—1—100 нФ, X — 0,1—10 мкФ, XI — 10—1000 мкФ. Погрешность измерения в поддиапазонах: I — 10%, II—X — 15%, XI — 20%. Индикатором равновесия моста служат головные телефоны. Мост питается от одного элемента типа 332, потребляемый ток 6мА. Габаритные размеры моста 125×72×66 мм, масса 600 г.

Принципиальная схема. Схема прибора (рис. 42) состоит из собственно моста переменного тока и питающего его транзисторного генератора.

Одно из плеч моста содержит измеряемое сопротивление R_x или индуктивность L_x, подключаемые к гнездам *Гн2, Гн3*, или измеряемую емкость C_x, которая присоединяется к гнездам *Гн1, Гн2*. Поддиапазоны I—IV измерения сопротивлений устанавливаются переключателем *В1а*, в положениях *1—4* которого в плечо сравнения вводится соответственно один из образцовых резисторов *R1—R4*. При измерении индуктивностей в поддиапазонах V—VII переключатель *В1а* устанавливается

в положения *5—7*, включая в плечо сравнения одну из образцовых катушек *L1—L3*. Аналогично осуществляется коммутация образцовых конденсаторов *C1—C4* в положениях *8—11* переключателя *В1а*, соответствующих измерению емкостей в поддиапазонах VIII—XI.

Плечи отношения моста образуются резисторами *R5—R7*. Переменный резистор *R6* служит для уравновешивания моста, а резисторы *R5* и *R7* ограничивают изменение отношения сопротивлений плеч в пределах 0,09—11. Этого достаточно для перекрытия поддиапазонов с некоторым запасом на их краях.

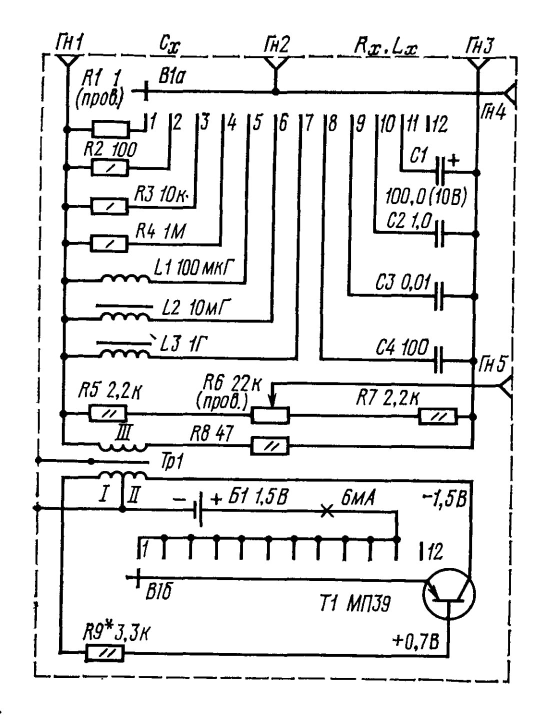


Рис. 42. Принципиальная схема измерительного моста (напряжения измерены относительно положительного полюса источника питания)

В одну из диагоналей моста через гнезда *Гн4*, *Гн5* включают головные телефоны, являющиеся индикатором равновесия, а к другой — подводится переменное напряжение частотой 1 кГц от генератора. Выбор частоты обусловлен тем, что она находится в области максимальной чувствительности слуха и эффективного звуковоспроизведения электромагнитными головными телефонами. Кроме того, при данной частоте реактивные сопротивления образцовых катушек и конденсаторов моста того же порядка, что и сопротивления его образцовых резисторов.

Генератор моста собран по трехточечной схеме на обмотках *I—II* трансформатора *Тр1* и транзисторе *Т1*. Резистор *R9* в цепи положительной обратной связи служит для установки оптимального режима генерации. Ограничительный резистор *R8* уменьшает нагрузку на выходную обмотку *III* трансформатора *Тр1*. Это необходимо для обеспечения устойчивой работы генератора, особенно на поддиапазонах I, V и XI, где сопротивления плеч сравнения переменному току малы.

Генератор питается от элемента *Б1*, присоединяемого переключателем *В1б*. В положении *12* переключателя *В1б* цепь элемента *Б1* разрывается, и прибор выключается.

Детали. Стабильность работы и погрешности измерений существенно зависят от правильного подбора деталей моста и точности подгонки их номиналов к заданным значениям. Резистор *R1* выполнен бифилярной намоткой (см. с. 46) из манганинового или константанового провода. Его сопротивление подгоняется с помощью любого промышленного моста постоянного или переменного тока, например, типа УМВ, Е12-2 (УМ-3) и др. На нем же подбираются и резисторы *R2—R4* типа МЛТ или ВС с допуском 5% по наименьшему отклонению их фактических сопротивлений от номиналов. Остальные постоянные резисторы также с допуском 5%.

Переменный резистор *R6* является важнейшей деталью моста. Его максимальное сопротивление может быть от 1 до 22 кОм. Предпочтительны проволочные резисторы с плотной намоткой и плавным скольжением движка. В крайнем случае, при отсутствии проволочного переменного резистора, допустимо, в ущерб точности, применение непроволочных — типа СП, ТК или ВК группы А (с линейной зависимостью сопротивления от угла поворота). Сопротив-

ления ограничительных резисторов *R5* и *R7* должны быть в 10 раз меньше максимального сопротивления переменного резистора *R6*.

Катушка *L1* содержит 140 витков ПЭЛШО 0,12, намотка «универсаль» шириной 4 мм на резисторе типа ВС-0,25 сопротивлением не менее 1 МОм. Можно использовать корректирующий дроссель от телевизора, смотав излишние витки. Катушка *L2* имеет 125 витков ПЭВ 0,31, намотанных на кольцевом сердечнике типоразмера К10×6×5 из феррита марки 600НН. В качестве *L2* пригодна катушка «звенящего контура» от телевизоров (две секции намотки «универсаль» по 600 витков ПЭЛШО 0,12 на каркасе наружным диаметром 7,5 мм с карбонильным подстроечным сердечником типа СЦР-1). Для изготовления катушки *L3*, содержащей 1100 витков ПЭЛ 0,18, использованы каркас и сердечник выходного трансформатора от радиоприемника «Спидола» (см. ниже). Подгонка индуктивностей катушек *L1* и *L2* с помощью промышленного моста переменного тока осуществляется сматыванием части витков, а катушки *L3* — удалением части пластин ее сердечника.

Конденсатор *C1* может быть типа ЭТО или К50-6, *C2* — типа МБГП или МБМ, *C3*, *C4* — типа КСО с допуском 5%. Их емкости также подбираются с помощью промышленного моста переменного тока. Для более точной подгонки емкости может оказаться целесообразным параллельное соединение конденсаторов.

Трансформатор *Тр1* — выходной от радиоприемника «Спидола» (или «ВЭФ-12», «ВЭФ-201» и т. п.). Он намотан на сердечнике Ш8×8 из пластин электротехнической стали марки Э340 толщиной 0,35 мм. Обмотка *I* и *II* содержат по 350 витков ПЭЛ 0,18, обмотка *III* — 2×92 витка (в два провода) ПЭЛ 0,29.

Переключатель *В1а—В1б* галетный типа ПГГ—11П2Н. Для получения двенадцатого (нейтрального) положения на месте выступа звездочки фиксатора с помощью абразивного круга сделано углубление. Обработать звездочку можно и напильником, но после предварительного отпуска металла. С втулки переключателя снято кольцо со стопорящим отгибом, благодаря чему переключатель вращается в любом направлении без ограничения.

Транзистор *Тр1* может быть типа МП39—МП42 или МП25—МП26. Элемент *Б1* типа 332. В качестве индикатора равновесия моста пригодны высокоомные головные телефоны типа ТОН-12, ТОН-2А и т. п.

Конструкция и монтаж. Мост смонтирован на гетинаксовой плате размерами 120×70×2 мм. На ней укреплено большинство деталей (рис. 43), причем резисторы *R1—R4*, катушка *L1* и конденсатор *C4* распаяны на лепестках переключателя *В1а—В1б*. Элемент *Б1* установлен в держатель-токосъемник, притягиваемый к плате двумя спиральными пружинами, что обеспечивает надежный контакт. Резисторы *R5*, *R7* и конденсаторы *C1*, *C2*, расположены на отдельной плате размерами 45×35×2 мм, установленной перпендикулярно основной плате. Благодаря этому мост смонтирован достаточно компактно. Электрические соединения выполнены проводниками в полихлорвиниловой изоляции.

Мост заключен в металлический корпус размерами 125×72×42 мм, в крышке которого просверлены два отверстия диаметром 10 мм для втулок переключателя *В1а—В1б* и переменного резистора *R6* и пять отверстий диаметром 8 мм против гнезд *Гн1—Гн5*, установленных на плате. Соосные отверстия сделаны также в наличнике из тонкого оргстекла, под который заложена плотная бумага с вычерченными на ней шкалами (рис. 44). Наличник, бумага и крышка корпуса плотно сжаты между собой и притянуты к плате гайками, навинченными поверх наличника на пропущенные сквозь отверстия втулки переключателя и переменного резистора. На их оси надеты и зафиксированы винтами ручки .«клювик». Для уменьшения погрешности отсчета показаний из-за параллакса в острие ручки переменного резистора пилой-шлицовкой прорезана визирная щель.

Положения *1—12* ручки переключателя обозначены соответственно: 1 Ом, 100 Ом, 10 кОм, 1 МОм, 100 мкГн, 10 мГн, 1 Гн, 100 пФ, 10 нФ, 1 мкФ. 100 мкФ (выключено).

Налаживание. Для проверки работоспособности моста подключают к гнездам *Гн2*, *Гн3* резистор сопротивлением 10 кОм, а к *Гн4*, *Гн5* — телефоны и

устанавливают переключатель *В1а—В1б* в положение *3*. Вращение ручки переменного резистора *R6* должно изменять громкость звука с острым минимумом вблизи середины шкалы. При такой же пробе с резистором сопротивлением 1 МОм в положении *4* переключателя звук тише, однако минимум должен быть достаточно четким. В противном случае следует подобрать сопротивление резистора *R9*.

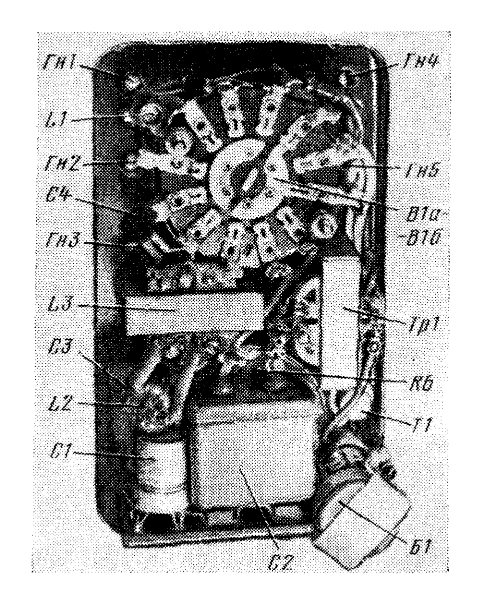


Рис. 43. Монтаж измерительного моста

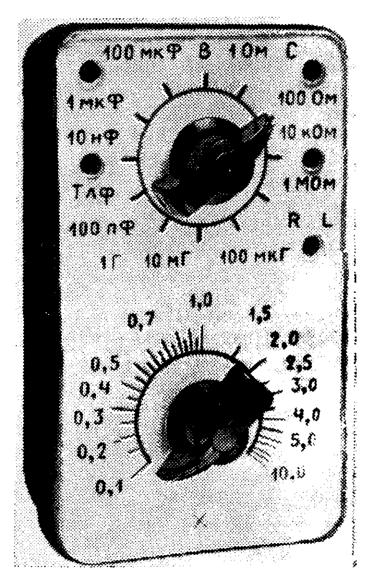


Рис. 44. Внешний вид измерительного моста

Градуировка моста производится на поддиапазоне II или III с помощью магазина сопротивлений, например, типа Р33, КМС-6 и т. п. Установив переключатель *В1а—В1б* в положение *2*, присоединяют магазин к гнездам *Гн2*, *Гн3*, набирают на нем сопротивление 10 Ом и после уравновешивания моста переменным резистором *R6* по минимуму звука в телефонах наносят в начале шкалы отметку 0,1. Затем набирают 20, 30, ..., 100 Ом и делают отметки 0,2; 0,3; ...; 1,0. Аналогично градуируют правую часть шкалы, нанося на нее отметки 1,5; 2,0; ...; 10, по сопротивлениям магазина 150, 200, ..., 1000 Ом. Полученные интервалы между оцифрованными отметками разделяют промежуточными отметками. Если переменный резистор *R6* — линейный, то отметки 0,1 и 10, 0,2 и 5, 0,5 и 2 располагаются попарно, симметрично относительно середины шкалы — отметки 1,0.

При отсутствии магазина сопротивлений возможна градуировка моста с помощью набора постоянных резисторов с допуском 1—2%, например, типов УЛИ или БЛП. Поскольку шкала моста единая для всех поддиапазонов, ее градуировка может быть выполнена по опорным точкам, полученным на разных поддиапазонах, в зависимости от номиналов имеющихся резисторов. Например, при наличии резисторов сопротивлением 10, 22, 68 и 100 кОм на поддиапазоне III получаются точки 1,0; 2,2; 6,8; 10, а на IV — 0,1. Последовательное соединение резисторов: 10 кОм +22 кОм, 10 кОм+68 кОм, 22 кОм +68 кОм — позволяет найти точки 3,3; 7,8; 9,0 на поддиапазоне III, а соединение 68 кОм+100 кОм — точку 0,17 на поддиапазоне IV. При параллельном соединении резисторов 10 и 22 кОм получается точка 0,7, а при соединении 68 и 100 кОм — точка 4,0 на поддиапазоне III. Таким образом, при небольшом количестве резисторов по-

лучается достаточно густая сетка точек, служащих опорными при нанесении градуировочных отметок шкалы моста.

Градуировка шкалы, выполненная по сопротивлениям, справедлива также для индуктивностей и емкостей. Это избавляет от необходимости использовать для градуировки образцовые катушки индуктивности и конденсаторы.

Эксплуатация. Подключив к мосту подлежащую измерению деталь и телефоны, устанавливают переключатель на соответствующий предел и уравновешивают мост переменным резистором. Результат измерения равен произведению установленного значения переключателя на показание шкалы моста. Если значение измеряемой величины неизвестно даже ориентировочно, то переключают поддиапазоны до тех пор, пока на одном из них не будет достигнуто уравновешивание моста.

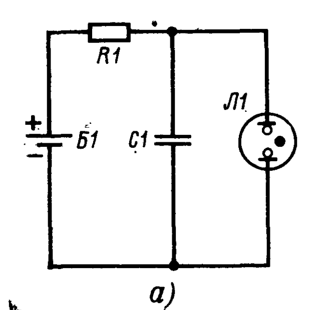
Поддиапазон XI предназначен для измерения емкости электролитических конденсаторов (с небольшой точностью). Прикладываемое к конденсатору переменное напряжение настолько мало, что измерение совершенно безвредно для него.

Помимо основного назначения, мост можно использовать в качестве источника низкочастотного напряжения. Ступенчатая регулировка амплитуды выходного напряжения, снимаемого с гнезд *Гн4*, *Гн5*, осуществляется переключателем *В1а—В1б* в положениях *1—4*, а плавная — переменным резистором *R6*.

ИЗМЕРИТЕЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЙ И ЕМКОСТЕЙ

Измеритель предназначен для измерения сопротивлений в пределах 0,1—1—10—100 МОм и емкостей в пределах 0,01—0,1—1—10—100 мкФ с погрешностью не более 5%. Измеритель питается от одного элемента типа 332, потребляемый ток 20 мА. Габаритные размеры измерителя 175×110×75 мм, масса 1 кг.

Принцип действия. Для измерения сопротивлений и емкостей используются процессы, происходящие в релаксационном генераторе (рис. 45,*а*). При включении источника питания *Б1* конденсатор *С1* начинает заряжаться через резистор *R1*, причем ток, протекающий через неоновую лампу *Л1*, практически равен нулю, так как ее сопротивление (до зажигания) весьма велико. По мере заряда конденсатора скорость возрастания напряжения *U* на его обкладках уменьшается, однако оно продолжает увеличиваться вплоть до напряжения зажигания неоновой лампы $U_з$. Процесс заряда конденсатора *С1* через резистор *R1* графически изображается участком кривой *ОА* на рис. 45,*б*, на котором представлена зависимость напряжения *U* от времени *t*.



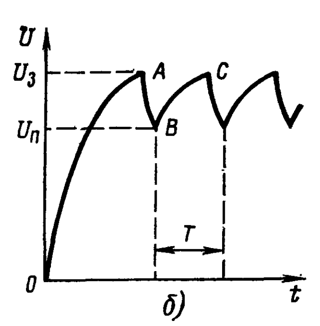


Рис. 45. Релаксационный генератор на неоновой лампе:
а — схема; *б* — зависимость напряжения *U* на конденсаторе от времени *t*

В момент, когда напряжение на конденсаторе становится равным напряжению зажигания неоновой лампы $U_з$, происходит ионизация наполняющего лампу газа и ее сопротивление резко уменьшается. Конденсатор быстро разряжается через лампу, причем возникает свечение газа в виде кратковременной, но достаточно яркой вспышки. Разряд конденсатора продолжается до тех пор, пока напряжение на нем не уменьшится до напряжения погасания неоновой лампы $U_п$ (участок кривой *АВ* на рис. 45,*б*).

Когда лампа погаснет, восстанавливается ее высокое сопротивление, и вновь происходит заряд конденсатора до напряжения зажигания $U_з$, которому соответствует участок кривой *BC* на рис. 45,*б*. В дальнейшем описанные процессы в генераторе по схеме рис. 45,*а* периодически повторяются.

Теория показывает, а практические измерения подтверждают, что период колебаний напряжения на конденсаторе равен

$$T_1 = kR_1C_1, \qquad (22)$$

где k — коэффициент, зависящий от напряжения источника питания и параметров неоновой лампы; R_1 — сопротивление резистора *R1*; C_1 — емкость конденсатора *C1*.

Если заменить резистор с известным сопротивлением R_1 резистором, сопротивление которого R_x неизвестно, то период колебаний изменится и станет равным

$$T_2 = kR_xC_1. \qquad (23)$$

Исключив из уравнений (22) и (23) величины k и C_1, можно определить неизвестное сопротивление:

$$R_x = R_1 \frac{T_2}{T_1}. \qquad (24)$$

Аналогично можно показать, что при замене конденсатора известной емкости C_1 конденсатором, емкость которого C_x неизвестна, справедлива формула

$$C_x = C_1 \frac{T_2}{T_1}. \qquad (25)$$

Периоды повторения вспышек неоновой лампы T_1 и T_2, если они превышают 0,5 с, нетрудно измерить с помощью секундомера. Для повышения точности определения R_x или C_x целесообразно измерять не один период колебаний, а время, в течение которого происходит достаточно большое число вспышек, например 10.

Принципиальная схема. Схема прибора (рис. 46) состоит из собственно измерителя сопротивлений и емкостей и питающего его стабилизированного

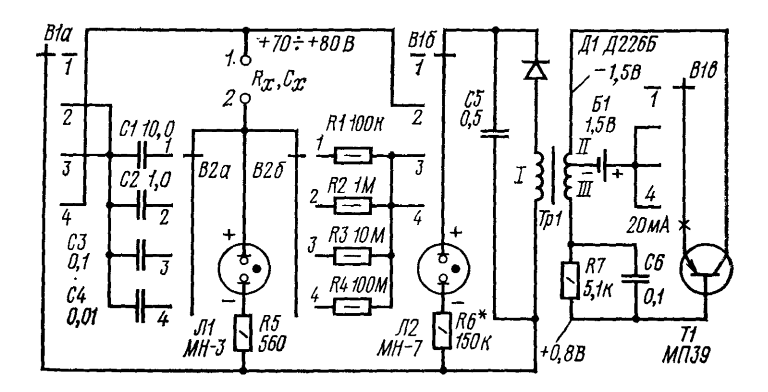


Рис. 46. Принципиальная схема измерителя сопротивлений и емкостей (напряжения на электродах транзистора *Т1* измерены относительно положительного полюса источника питания)

транзисторного преобразователя напряжения. Измеритель содержит переключатель рода работы *В1а—В1в*, переключатель пределов измерения *В2а—В2б*, образцовые резисторы *R1—R4* и конденсаторы *C1—C4*, зажимы *1*, *2*, неоновую лампу *Л1* и ограничительный резистор *R5*. Переключатель *В1а—В1в* имеет четыре положения: *1* — прибор выключен, *2* — измерение сопротивлений, *3* —

калибровка, *4* — измерение емкостей. Переключатель *В2а—В2б* в положениях *1—4* вводит в релаксационный генератор образцовые резисторы *R1—R4* сопротивлением соответственно 0,1; 1; 10 и 100 МОм и (или) образцовые конденсаторы *С1—С4* емкостью 10; 1; 0,1 и 0,01 мкФ. Благодаря такому выбору параметров период колебаний при калибровке и измерениях на всех поддиапазонах получается порядка 1 с, что позволяет без труда сосчитать вспышки неоновой лампы *Л1*. Резистор *R5* предохраняет ее от чрезмерно сильных токов при разряде конденсаторов большой емкости.

Преобразователь напряжения представляет собой блокинг-генератор, содержащий импульсный трансформатор *Тр1*, транзистор *Т1* и зарядную цепь *R7C6*. Развивающиеся на повышающей обмотке *I* трансформатора *Тр1* импульсы напряжения выпрямляются диодом *Д1* и заряжают конденсатор *С5*. Для обеспечения постоянства выходного напряжения преобразователя в процессе работы измерителя применен простейший стабилизатор напряжения параллельного типа на неоновой лампе *Л2*.

Источником питания прибора служит элемент *Б1*, который присоединяется к преобразователю напряжения в положениях *2—4* переключателя *В1а—В1в*.

Детали. Резисторы *R1* и *R2* составлены из нескольких резисторов типа УЛИ, соединенных последовательно. Можно применить и резисторы типов МЛТ или ВС с допуском 5%. Резистор *R3* подобран из двух последовательно соединенных резисторов МЛТ-0,5 и 5,1 МОм±5%. Резистор *R4* составлен из 15 резисторов МЛТ-0,5 5,1 МОм±5% и пяти резисторов МЛТ-0,5 4,7 МОм±5%. Они соединены последовательно и помещены в коробочку из полистирола, склеенную полистироловым клеем, что делает ее влагонепроницаемой. Резистор *R5* типа МЛТ-0,5 560 Ом ±5%, резисторы *R6*, *R7* любых типов.

Конденсатор *С1* типа МБГП с допуском 5%; *С2*, *С3* типа КБГ-МП с допуском 5%; *С4* типа КБГ-И или КСО с допуском 5% и минимальной утечкой; *С5, С6* типа МБМ или БМ. В приборе могут использоваться образцовые резисторы *R1—R4* и конденсаторы *С1—С4* других типов с допуском не более 5%. Для достижения гарантированной погрешности измерения следует измерить фактические значения их сопротивлений и емкостей с помощью измерительного моста, например, типа Е12-2 (УМ-3) и отобрать элементы с меньшим значением допуска. Рекомендуется применять состарившиеся, т. е. хранившиеся без употребления год или более, детали.

Переключатель *В1а—В1в* галетный типа ПГГ-3П3Н с двумя платами, лепестки одной из них отогнуты и используются как монтажные. Для получения четвертого положения (положение *1* по схеме рис. 46) кольцо фиксатора со стопорным отгибом переставлено. Переключатель *В2а—В2б* галетный типа ПГК—5П2Н с керамической платой. Зажимы *1, 2* должны быть смонтированы на пластинке из оргстекла или полистирола.

Неоновая лампа *Л1* типа МН-3 перед установкой в прибор должна тренироваться током около 1 мА в течение нескольких десятков часов. Для этого ее через резистор сопротивлением 200—300 кОм присоединяют к любому источнику постоянного напряжения 200—300 В. Тренировка и последующая работа лампы в приборе должны происходить при обязательном соблюдении полярности включения: отрицательный электрод (катод) лампы МН-3 выведен на металлический цилиндр цоколя. Из-за невысокого качества изоляции цоколя возможны поверхностные утечки тока, особенно в условиях повышенной влажности. Во избежание этого следует, припаяв к цоколю соединительные проводники, протереть его ацетоном или бензолом, прогреть и немедленно покрыть полистирольным клеем. Еще лучше снять цоколь, однако эта операция требует большой осторожности. В качестве *Л1* можно использовать (с несколько худшими результатами) неоновую лампу типа МН-6а.

Напряжение зажигания неоновой лампы *Л2* должно быть меньше выходного напряжения преобразователя, а ее напряжение горения — больше напряжения зажигания лампы *Л1*. Этими требованиями обусловлен выбор лампы *Л2* типа МН-7. Ее можно заменить лампой типа ТН-0,2 (МН-8) или двумя соединенными последовательно с учетом полярности лампами типа МН-3. Транзистор *Т1* может быть типа МП39—МП42 или МП25—МП26. Диод *Д1* типа Д226Б—Д226Г. Элемент *Б1* типа 332.

Трансформатор *Тр1* изготовлен из трансформатора типа БТК-П с сердечником Ш7×7 из феррита марки 1000НН, от телевизоров типа УНТ-47/59. В качестве обмотки *I* используется имеющаяся обмотка с бо́льшим сопротивлением (определяется с помощью авометра) — 3000 витков ПЭЛ 0,07. Поверх нее доматываются обмотки II — 50 витков ПЭВ 0,15 и III — 100 витков ПЭВ 0,1. При отсутствии трансформатора типа БТК-П или хотя бы сердечника от него, можно намотать трансформатор *Тр1* на сердечнике сечением 0,5—1 см^2 из пластин электротехнической стали. Данные обмоток остаются прежними, однако КПД преобразователя напряжения несколько уменьшится: возрастет потребление тока от элемента *Б1*.

Конструкция и монтаж. Все крупные детали укреплены на гетинаксовой плате размерами 175×110×3 мм (рис.47), которая служит также передней панелью измерителя сопротивлений и емкостей. Резисторы, из которых составлены *R1* и *R2*, распаяны на гетинаксовой планке с лепестками, а *R3* — на отдельной планке из полистирола. Коробочка с цепочкой резисторов *R4* привинчена к монтажной плате. Неоновая лампа *Л1* укреплена в отверстии платы так, что купол ее баллона выходит на переднюю панель измерителя.

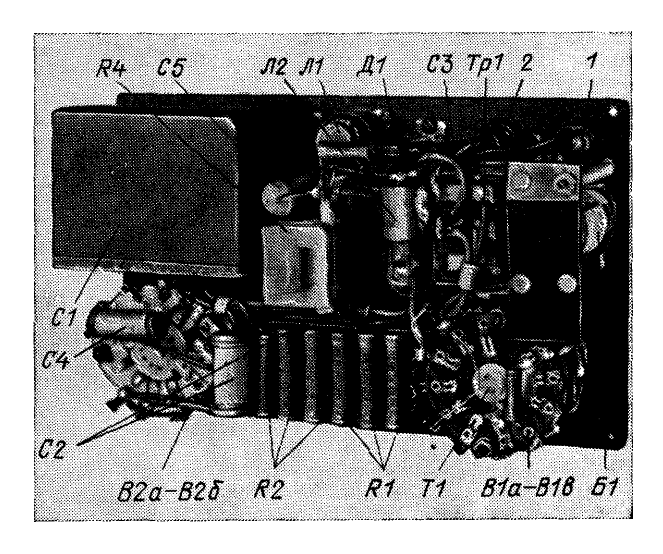


Рис. 47. Монтаж измерителя сопротивлений и емкостей

Кожух трансформатора *Тр1* и держатель элемента *Б1* образуют конструктивный узел, привинченный к монтажной плате. Вблизи него расположены диод *Д1*, конденсатор *С5*, неоновая лампа *Л2* и резистор *R6*. Транзистор *Т1*, конденсатор *С6* и резистор *R7* распаяны на отогнутых лепестках свободной платы переключателя *В1а—В1в*.

Электрический монтаж выполнен гибкими проводниками в полихлорвиниловой изоляции, частично увязанными в жгуты. При пайке следует применять твердую канифоль. Жидкие флюсы не рекомендуются так как, растекаясь по поверхности деталей и монтажных планок, они могут увеличивать токи утечки.

Плата со смонтированными на ней деталями заключена в пластмассовый корпус размерами 175×110×50 мм. На переднюю панель измерителя (рис. 48) выведены ручки переключателей *В1а—В1в* и *В2а—В2б*, зажимы *1*, *2*, установленные на изоляционной планке, и купол баллона лампы *Л1*, прикрытый колпачком с защитным стеклом. Необходимые надписи и обозначения выполнены белой краской (гуашью) на черной бумаге (упаковке от фотоматериалов), прижатой к передней панели наличником из тонкого оргстекла.

Налаживание. Напряжение на выходе ненагруженного преобразователя (на конденсаторе *С5*) должно достигать 90—110 В. Если оно окажется меньшим, то в первую очередь следует попробовать поменять местами выводы обмотки *I* трансформатора *Тр1*, а затем подобрать сопротивление резистора *R7*. После подключения нагрузки напряжение на конденсаторе *С5* составляет 70—80 В. Установив переключатель *В1а—В1в* в положение *3*, подбирают сопротивление резистора *R6* так, чтобы лампа *Л2* светилась при любом положении переключателя *В2а—В2б*. Что же касается лампы *Л1*, то она должна вспыхивать примерно с одинаковым периодом, но яркость вспышек наибольшая в положении *1* переключателя *В2а—В2б*, наименьшая в положении *4*. Если в положении *4* нет вспышек, то наиболее вероятная причина — утечка конденсатора *С4*. Проверить конденсатор можно, временно отключив его. Если после отключения лампа *Л1* будет слабо светиться, следует заменить конденсатор *С4* другим, имеющим большее сопротивление утечки.

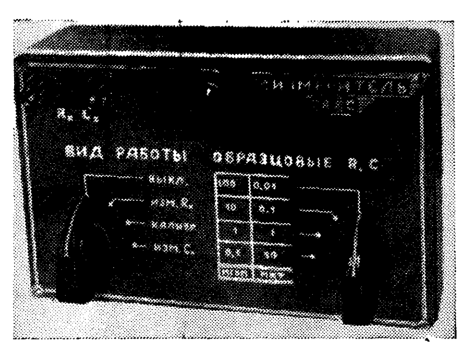


Рис. 48. Внешний вид измерителя сопротивлений и емкостей

В заключение измеряют ток, потребляемый от элемента *Б1*. Он не должен превышать 20 мА. В противном случае лучше заменить транзистор *Т1* другим, с бóльшим статическим коэффициентом передачи тока.

Эксплуатация. Во время измерений на неоновую лампу *Л1* не должен попадать яркий свет, особенно солнечный, поскольку сильное освещение изменяет параметры лампы, что повлечет за собой увеличение погрешности измерения.

Подключив к зажимам *1, 2* подлежащий измерению резистор, устанавливают переключатель рода работы *В1а—В1в* в положение *2*, а переключатель *В2а—В2б* — соответственно выбранному пределу измерений. Если сопротивление измеряемого резистора неизвестно даже ориентировочно, изменяют положение переключателя *В2а—В2б* до тех пор, пока не будет достигнут период повторения вспышек лампы около 1 с. Отсчитывают 10 вспышек и по секундомеру или часам с секундной стрелкой определяют время 10 T_2. Затем, переведя переключатель *В1а—В1в* в положение *3*, производят калибровку: отсчитывают 10 вспышек и определяют время 10 T_1. Вычисляют искомое сопротивление по формуле (24), подставляя в нее вместо периодов T_1 и T_2 соответственно времени 10 T_1 и 10 T_2.

Таким же образом измеряют и емкости конденсаторов, но при измерении переключатель *В1а—В1в* устанавливают в положение *4*, при калибровке — в положение *3*, а значение емкости вычисляют по формуле (25).

Возможные усовершенствования. Для удобства измерений можно дополнить световую индикацию звуковой, присоединив параллельно резистору *R5* высокоомный телефон. Тогда вспышки лампы *Л1* будут сопровождаться щелчками телефона, что облегчает подсчет вспышек.

ПРИСТАВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЕМКОСТЕЙ И ИНДУКТИВНОСТЕЙ

Приставка предназначена для измерения емкостей и индуктивностей резонансным методом в сочетании с генератором сигналов или с радиоприемником. Пределы измерения емкости 25—750 пФ, пределы измерения индуктивностей с помощью генератора сигналов 2—50 000 мкГн, с помощью радиоприемника — 15—22 000 мкГн. Габаритные размеры приставки 115×65×50 мм, масса 220 г.

Принципиальная схема. Схема приставки (рис. 49) содержит последовательный колебательный контур, образованный катушкой *L1* и конденсатором

переменной емкости *C1*, и детектор с удвоением напряжения на диодах *Д1*, *Д2*.

Для измерения емкости переключатель *В1а—В1б* устанавливают в нижнее положение, гнезда *Гн1, Гн2* соединяют с выходом генератора амплитудно-модулированных высокочастотных колебаний, а *Гн5, Гн6* — с индикатором резонанса: милливольтметром переменного тока или головными телефонами. При совпадении частоты генератора с частотой контура *L1C1* в нем возникает резонанс напряжений. Высокочастотное напряжение на конденсаторе *C1* и низкочастотное — на выходе детектора резко увеличиваются, что отмечается индикатором.

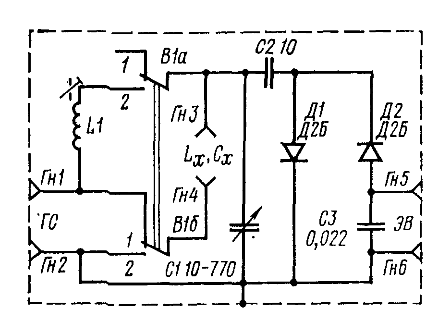


Рис. 49. Принципиальная схема приставки для измерения емкостей и индуктивностей

После подключения измеряемой емкости C_x к гнездам *Гн3, Гн4* контур расстраивается, и показания индикатора уменьшаются. Для восстановления резонанса необходимо уменьшить емкость конденсатора *C1* на величину C_x. Поэтому искомая емкость C_x равна разности первоначальной и вновь установленной емкостей конденсатора *C1*, которые отсчитывают по его шкале, проградуированной в пикофарадах.

Для измерения индуктивности переключатель *В1а—В1б* переводят в верхнее положение, измеряемая индуктивность присоединяется к гнездам *Гн3, Гн4* и образует с конденсатором *C1* последовательный колебательный контур. Перестройкой частоты генератора или изменением емкости конденсатора *C1* достигают резонанса напряжений, отмечаемого индикатором. После этого искомая индуктивность L_x вычисляется по формуле (20), в которую подставляют известные частоту генератора f и введенную емкость конденсатора *C1*.

Емкости и индуктивности можно измерять также с помощью радиоприемника. В этом случае не требуются генератор сигналов и индикатор резонанса.

Для измерения емкости переключатель *В1а—В1б* устанавливают в нижнее (по схеме рис. 49) положение, гнездо *Гн1* соединяют с гнездом антенны приемника, а *Гн2* — с его гнездом заземления. Приемник настраивают на хорошо слышимую радиостанцию. Изменяя емкость конденсатора *C1*, настраивают контур *L1C1* на частоту принимаемой станции. При резонансе напряжений сопротивление контура *L1C1* становится малым и сильно шунтирует антенный вход приемника, отчего прием резко ослабляется. Заметив емкость конденсатора *C1*, подключают измеряемый конденсатор C_x к гнездам *Гн3, Гн4* и вновь настраивают контур *L1C1* на минимальную слышимость станции, уменьшая емкость конденсатора *C1* на значение измеряемой емкости C_x. Очевидно, она равна разности между первоначальной и вновь установленной емкостями конденсатора *C1*.

Индуктивность измеряют при установке переключателя *В1а — В1б* в верхнее (по схеме рис. 49) положение. Катушку, индуктивность которой подлежит измерению, подключают к гнездам *Гн3, Гн4* и настраивают приемник на радиостанцию, частота которой известна или отсчитана по шкале приемника. Изменяя емкость конденсатора *C1*, перестраивают образованный им совместно с измеряемой индуктивностью L_x контур до ослабления приема станции. Отсчитав введенную емкость конденсатора *C1* по его шкале, находят искомую индуктивность по формуле (20).

Детали. В приставке установлен двухсекционный конденсатор переменной емкости *C1* с твердым диэлектриком. Емкость каждой его секции изменяется в пределах 5—385 пФ. Обе секции соединены параллельно, и максимальная емкость равна 770 пФ. Можно использовать другие конденсаторы, желательно с возможно большей максимальной емкостью, так как ее увеличение расширяет пределы измерения приставки.

Для получения острого резонанса требуется высокая добротность катушки *L1*. В качестве нее использованы две намотанные на общем каркасе и со-

единенные последовательно катушки с карбонильными подстроечными сердечниками от полосового фильтра промежуточной частоты. Их общая индуктивность с учетом взаимоиндукции равна 550 мкГн. Рекомендуемые данные для самостоятельного изготовления катушки: 220 витков провода ЛЭШО 10×0,07, намотка «универсаль» или «внавал» шириной 10 мм на каркасе диаметром 12 мм, с карбонильным подстроечным сердечником. Можно использовать готовые катушки индуктивностью 500—600 мкГн.

Конденсатор *C2* типа КТК или КДК, *C3* типа КЛС или БМ. Диоды *Д1*, *Д2* могут быть типа Д2Б—Д2Ж или Д9Б—Д9И. Переключатель *В1а—В1б* типа ТП1-2. Гнезда *Гн1—Гн6* любой конструкции.

Конструкция и монтаж. Приставка смонтирована на гетинаксовой плате размерами 110×60×2 мм (рис. 50). Плата заключена в металлический корпус размерами 115×60×35 мм, который электрически соединен с выводом подвижных пластин конденсатора переменной емкости *C1*.

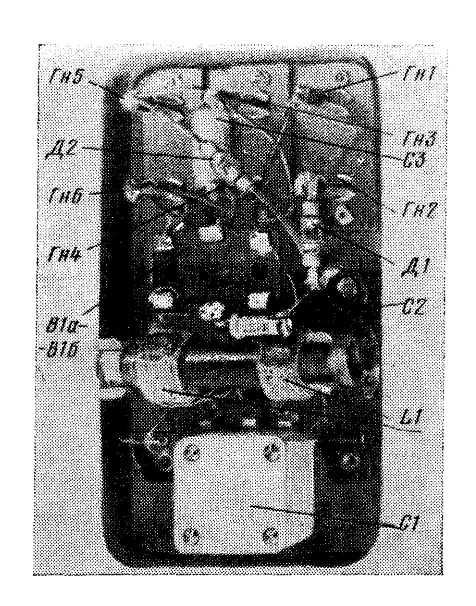


Рис. 50. Монтаж приставки

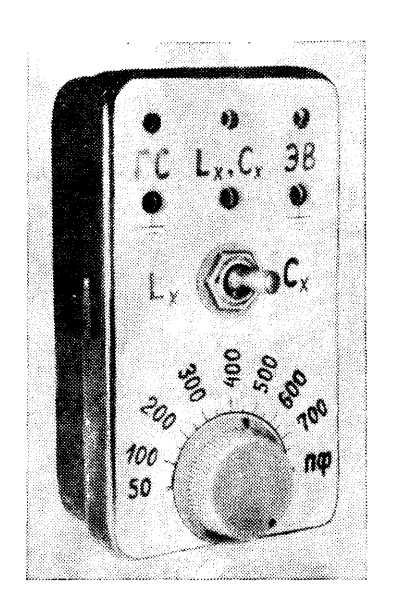


Рис. 51. Внешний вид приставки

На верхней панели приставки (рис. 51) расположены ручки конденсатора *C1* и переключателя *В1а—В1б*, а также сделаны отверстия диаметром 8 мм для включения вилок в гнезда *Гн1—Гн6*, установленные на монтажной плате. Шкала конденсатора и надписи у гнезд вычерчены тушью на плотной бумаге, прижатой к панели наличником из тонкого оргстекла.

Электрический монтаж приставки выполнен в основном выводами деталей. Часть соединений сделана проводниками в полихлорвиниловой изоляции.

Градуировка. Для градуировки шкалы в пикофарадах можно измерить емкость конденсатора *C1* при различных углах поворота его подвижных пластин с помощью приборов типов Е12-1 (ИИЕВ-1), Е12-2 (УМ-3) и др. В некоторых случаях возможна градуировка шкалы на основании паспортных данных конденсатора переменной емкости. Например, емкости каждой из секций конденсатора от радиолы «Латвия» при углах поворота подвижных пластин 0, 20, 45, 90, 120, 155 и 180° равны соответственно 10,5±1; 33±1; 72±1,5; 166±2; 259±2; 398±3 и 513±5 пФ. Построив по этим данным график на миллиметровой бумаге, можно затем найти из него емкости конденсатора при других углах поворота пластин.

Если зависимость емкости конденсатора *C1* от угла поворота пластин неизвестна и нет приборов для ее измерения, то градуировка шкалы может быть выполнена по образцовым конденсаторам, в качестве которых пригодны слюдяные или керамические конденсаторы постоянной емкости с допуском 5%. Градуировку производят с применением генератора сигналов и индикатора резонанса или с помощью радиоприемника. Генератор присоединяют к гнездам *Гн1*, *Гн2*, а индикатор — к *Гн5*, *Гн6*. Переключатель *В1а—В1б* устанавливают в нижнее (по схеме рис. 49) положение. Настроив генератор на частоту 250 кГц и отпаяв конденсатор *C1*, подключают к гнездам *Гн3, Гн1* образцовый конденсатор емкостью 750 пФ. Вращением подстроечного сердечника катушки *L1* добиваются резонанса, отмечаемого индикатором. Отключают образцовый конденсатор, припаивают конденсатор *C1* и изменяют его емкость до восстановления резонанса. Очевидно, при этом она равна 750 пФ, и на шкале делают соответствующую отметку. Затем подключают к гнездам *Гн3, Гн4* образцовый конденсатор емкостью 50 пФ (два конденсатора по 100 пФ, соединенные последовательно) и уменьшают емкость конденсатора *C1* до нового восстановления резонанса. Новое значение емкости равно 750 пФ — —50 пФ=700 пФ, и на шкалу наносят отметку 700 пФ. Аналогично, подключив образцовый конденсатор емкостью 100 пФ, получают отметку 750 пФ — —100 пФ=650 пФ и т. д. Таким способом градуируют шкалу вплоть до минимального значения емкости.

При отсутствии генератора сигналов и индикатора шкалу приставки градуируют с помощью приемника и образцовых конденсаторов. Методика градуировки подобна описанной выше, за исключением того, что сигнал генератора заменяется сигналом радиостанции, а индикатором резонанса служит приемник.

Приемник настраивают на одну из радиостанций, работающих на участке 225—275 кГц ДВ диапазона. Отпаяв конденсатор *C1*, устанавливают переключатель *В1а—В1б* в нижнее (по схеме рис. 49) положение и соединяют гнездо *Гн1* с антенным гнездом приемника, а *Гн2* с его гнездом заземления. К гнездам *Гн3, Гн4* подключают образцовый конденсатор емкостью 750 пф и вращением подстроечного сердечника катушки *L1* добиваются ослабления или даже прекращения приема станции. Отключив образцовый конденсатор, припаивают конденсатор *C1* и изменяют его емкость до повторного ослабления приема. При этом емкость конденсатора *C1* равна 750 пФ, что и отмечается на его шкале. Затем подключают к гнездам *Гн3, Гн4* образцовый конденсатор емкостью 50 пФ и уменьшают емкость конденсатора *C1* до нового ослабления приема, возникающего при емкости 750 пФ — 50 пФ=700 пФ. Таким же образом, подключая к приставке образцовые конденсаторы различной емкости, градуируют шкалу на всем ее протяжении.

Эксплуатация. Конденсаторы и катушки, параметры которых подлежат измерению, должны подключаться к приставке короткими проводниками с припаянными к ним однополюсными вилками и зажимами «крокодил». Скручивать эти проводники между собой не следует. В качестве индикатора резонанса можно применять высокоомные головные телефоны, например типа ТОН-2, ТОН-2А, или милливольтметр (см. с. 27—30).

Для измерений с помощью радиоприемника могут использоваться сигналы любых радиостанций, работающих в диапазонах ДВ и СВ. Однако малые емкости лучше измерять, принимая сигналы станций в высокочастотной части СВ диапазона. При таком выборе частоты сигнала отсчеты будут производиться на участке шкалы приставки, соответствующем малым значениям емкости, и погрешность измерения также уменьшится. Если применяется приемник с магнитной антенной, то непосредственный прием на нее ослабляют, располагая ось антенны вертикально (поворачивают приемник), чтобы сигнал поступал в него только через гнездо антенного входа.

Пределы измерения емкости как с помощью генератора сигналов, так и при использовании радиоприемника одинаковы: 25—750 пФ. Пределы измерения индуктивности с генератором сигналов (см. с. 42—52) составляют 2—50 000 мкГн. При использовании приемника, имеющего диапазоны ДВ (150—408 кГц) и СВ (525—1605 кГц), можно измерять индуктивность в пределах 15—22 000 мкГн.

ИНДИКАТОРНЫЕ ПРИБОРЫ

СИГНАЛ-ИНДИКАТОР

Сигнал-индикатор предназначен для звуковой индикации напряжений низкой частоты 50—5000 Гц и модулированных напряжений высокой частоты 0,1—75 МГц. Чувствительность на частоте 1000 Гц не хуже 1 мВ, на частотах 0,1—10 МГц при 30%-ной амплитудной модуляции частотой 1000 Гц не хуже 5 мВ. Входное сопротивление не менее 10 кОм. Сигнал-индикатор питается от одного элемента типа 332, потребляемый ток не более 10 мА. Габаритные размеры сигнал-индикатора 125×72×65 мм, масса 400 г.

Принципиальная схема. Сигнал-индикатор (рис. 52) представляет собой приемник прямого усиления структуры 2—V—4 без частотно-избирательных цепей с выходом на громкоговоритель. Высокочастотное напряжение с коаксиального гнезда *Гн1* через резистор *R1*, увеличивающий входное сопротивление, и разделительный конденсатор *C1* поступает на вход двухкаскадного широкополосного усилителя на транзисторах *T1*, *T2*. Оба каскада собраны по схеме с общим эмиттером и резистивными нагрузками в цепях коллекторов.

Усиленные колебания высокой частоты подаются на детектор с удвоением напряжения на диодах *Д1*, *Д2* и конденсаторах *C3*, *C4*. Выходное напряжение такого детектора зависит не только от амплитуды, но и от частоты сигнала. Поэтому он детектирует как амплитудно-модулированные, так и частотно-модулированные колебания.

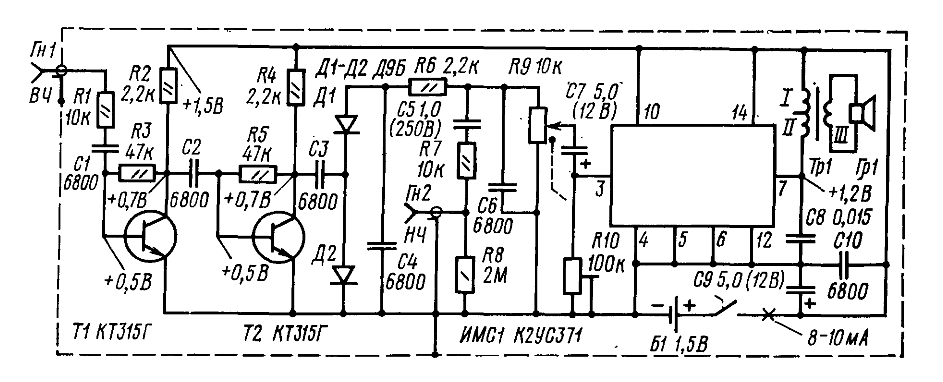


Рис. 52. Принципиальная схема сигнал-индикатора (напряжения измерены относительно отрицательного полюса источника питания)

Низкочастотное напряжение от детектора через фильтр *R6C6* поступает на регулятор усиления — переменный резистор *R9*, а с него, через разделительный конденсатор *C7*, — на вход (вывод *3*) гибридной интегральной микросхемы *ИМС1*. Интегральная микросхема типа К2УС371 содержит пять бескорпусных кремниевых транзисторов и 15 тонкопленочных резисторов, образующих четырехкаскадный усилитель низкой частоты с непосредственными связями. Оптимальный электрический режим интегральной микросхемы *ИМС1* устанавливается подстроечным резистором *R10*.

Как показали эксперименты, допустимые токи транзисторов и мощность рассеяния интегральной микросхемы типа К2УС371 в целом достаточны для ее нагрузки динамической головкой прямого излучения. Выход *ИМС1* (вывод *7*) с помощью понижающего трансформатора *Тр1* согласован с малым полным сопротивлением динамической головки *Гр1*. Для повышения устойчивости работы интегральной микросхемы вывод *7* блокирован конденсатором *C8*, несколько уменьшающим усиление на высших частотах звукового диапазона.

Сигнал-индикатор питается от элемента *Б1*, присоединяемого выключателем *В1* и заблокированного конденсаторами *С9* и *С10*, которые ослабляют нежелательные связи между каскадами через цепи питания.

Для индикации колебаний низкой частоты они подаются через коаксиальное гнездо *Гн2*, резистор *R7*, увеличивающий входное сопротивление, и разделительный конденсатор *С5* на переменный резистор *R9* и затем усиливаются интегральной микросхемой *ИМС1*. Резистор *R8* обеспечивает разряд конденсатора *С5* после отключения сигнал-индикатора от проверяемых объектов.

Детали. Транзисторы *Т1, Т2* могут быть типа КТ315Б—КТ315Е. Диоды *Д1, Д2* типа Д2Б—Д2Ж или Д9Б—Д9Л. Интегральную микросхему *ИМС1* можно заменить на К2УС372 (присоединение выводов по схеме рис. 52 сохраняется). Конденсаторы *С1—С4*, *С6*, *С10* типа КДС или КЛС; *С5* типа МБГП или МБГО; *С7, С9* типа К50-3 или К50-6; *С8* типа БМ или КЛС. Постоянный резистор *R8* типа МЛТ-0,25 или МЛТ-0,5, остальные типа ВС-0,125 или УЛМ-0,12. Переменный резистор *R9* с выключателем *В1* типа ТК или другой может быть с максимальным сопротивлением от 4,7 до 10 кОм, желательно группы В. Подстроечный резистор *R10* типа СПЗ-1б или СПО, СПЗ-1а.

Трансформатор *Тр1* — выходной от радиоприемника «Спидола», «ВЭФ-12» и т. п. (см. данные на с. 61). Можно использовать выходные трансформаторы от других транзисторных приемников. Динамическая головка *Гр1* типа 0,1ГД-3, 0,1ГД-6 или другая, мощностью до 0,25 Вт. Коаксиальные гнезда *Гн1*, *Гн2* от антенного входа телевизора. Элемент *Б1* типа *332*.

Конструкция и монтаж. Сигнал-индикатор смонтирован в металлическом корпусе размерами 125×72×42 мм (рис. 53). На крышке корпуса расположе-

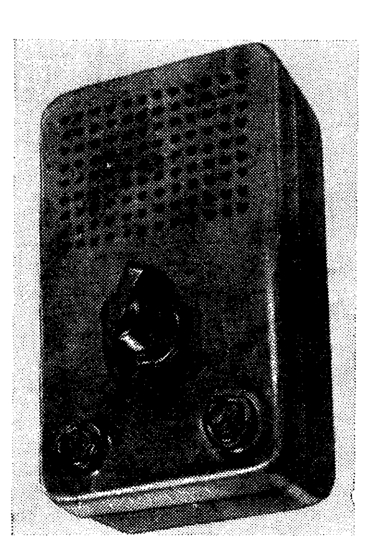


Рис. 53. Внешний вид сигнал-индикатора

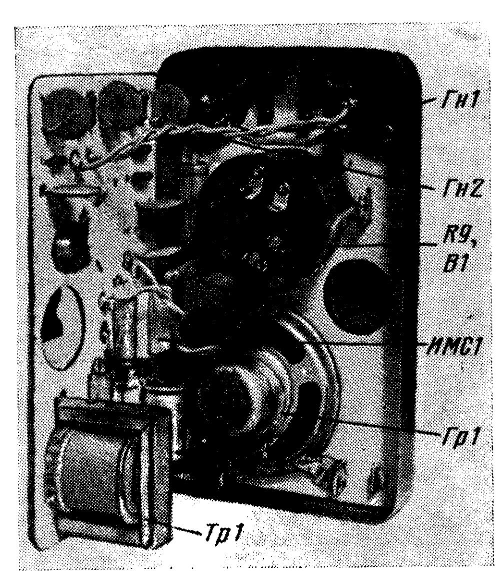


Рис. 54. Монтаж сигнал-индикатора (для наглядности плата развернута на 90°)

ны гнезда *Гн1*, *Гн2* и ручка переменного резистора *R9* с выключателем *В1*. Для пропускания звука от динамической головки в крышке сделана прямоугольная решетка из просверленных с шагом 5 мм 9×12 отверстий диаметром 3 мм, которые раззенкованы до половины глубины диаметром 4 мм.

Детали сигнал-индикатора расположены на двух гетинаксовых платах размерами 116×68×2 мм, установленных на расстоянии 30 мм одна от другой. На плате, прижатой изнутри к крышке корпуса, находятся гнезда *Гн1*, *Гн2*, переменный резистор *R9* с выключателем *В1*, динамическая головка *Гр1*, кон-

денсатор *C5* и резисторы *R7*, *R8*. Прочие детали размещены на другой плате и обращены внутрь корпуса, что позволяет рациональнее использовать его объем. В обеих платах сделаны соосные отверстия диаметром 22 мм, куда вставляется элемент *Б1*, дно которого прижимается к крышке корпуса давлением держателя, упирающегося в колпачок положительного вывода элемента.

Электрический монтаж выполнен в основном голыми непересекающимися проводниками, приклеенными к плате клеем БФ-2. Соединения между платами сделаны гибкими проводниками в полихлорвиниловой изоляции. Монтаж сигнал-индикатора с развернутой, для наглядности, на 90° платой показан на рис. 54.

Налаживание. Примерные значения напряжений и потребляемого тока указаны на схеме рис. 52. Для проверки работоспособности достаточно присоединить к гнезду *Гн1* антенну длиной несколько метров, чтобы услышать какую-нибудь радиостанцию, а иногда и несколько. Установив движок переменного резистора *R9* в положение, соответствующее наибольшей громкости, регулировкой подстроечного резистора *R10* добиваются минимальных искажений воспроизводимого звука. Его тембр, который зависит от примененных динамической головки и корпуса, можно изменять подбором емкости конденсатора *C8*.

Следует отметить, что при низком напряжении питания интегральной микросхемы *ИМС1* электрический режим, необходимый для получения минимальных искажений, отличается от режима максимального усиления. Оно может быть установлено регулировкой подстроечного резистора *R10* по возрастанию уровня шумов, воспроизводимых динамической головкой *Гр1* при отсутствии сигнала на входе. Однако при максимальном усилении искажения звука также увеличатся. Устранить этот недостаток можно, применив питание напряжением 3 В от двух последовательно соединенных элементов типа 332.

Эксплуатация. Сигнал-индикатор подключают к обследуемой аппаратуре (приемнику, телевизору) зажимами «крокодил», соединенными короткими проводниками с коаксиальным штекером, который вставляют в гнездо *Гн1*. Зажим, соединенный с корпусом сигнал-индикатора, подключают к общему проводу обследуемого устройства, а другой зажим — к различным точкам в тракте высокой или промежуточной частоты. Наличие и громкость воспроизводимого звука позволяют судить о прохождении сигнала, который подается на вход устройства от антенны или генератора сигналов. Таким образом выявляют неисправные каскады или отдельные детали устройства.

Прохождение сигнала после детектора и в тракте низкой частоты проверяемого устройства контролируется так же, но штекер с соединительными проводниками вставляют в гнездо *Гн2*. Во всех случаях рекомендуется устанавливать возможно меньшее, но достаточное для прослушивания усиление сигнал-индикатора. Излишнее усиление сопровождается искажениями сигнала, а чрезмерная громкость маскирует его изменения.

Сигнал-индикатор можно использовать для проверки и настройки магнитных антенн. Для этого вставляют штекер в гнездо *Гн1* и присоединяют зажимы к катушке связи магнитной антенны, контурные катушки которой подключают к конденсатору переменной емкости. Перемещением катушек и изменением числа их витков можно установить границы принимаемых диапазонов, подобрать оптимальную связь между катушками и т. п.

Сигнал-индикатор позволяет сравнивать между собой частоты колебаний двух генераторов, для чего их выходы связывают с гнездом *Гн1*. При сближении основных частот генераторов или их гармоник между ними возникают биения, и тогда сигнал-индикатор воспроизводит звук разностной частоты биений. По мере уменьшения разности частот звуковой тон понижается, и при их совпадении исчезает — получаются так называемые нулевые биения.

ИНДИКАТОР-ГЕНЕРАТОР

Индикатор-генератор предназначен для звуковой индикации напряжений низкой частоты 50—5000 Гц и модулированных напряжений высокой частоты 0,1—75 МГц, а также генерирования спектра колебаний частотой до 0,5 МГц,

модулированных по амплитуде частотой 1000 Гц. Чувствительность индикатора на частоте 1000 Гц не хуже 1 мВ, на частотах 0,1—25 МГц при 30%-ной амплитудной модуляции сигнала частотой 1000 Гц не хуже 5 мВ. Входное сопротивление 1 кОм. Индикация осуществляется на головные телефоны. Выходное напряжение генератора — прямоугольные импульсы амплитудой 0,5 и 0,05 В. Выходное сопротивление 1 кОм. Индикатор-генератор питается от одного элемента типа 332. Потребляемый ток — не более 1,5 мА. Габаритные размеры индикатора-генератора 125×72×60 мм, масса 400 г.

Принципиальная схема. Высокочастотное напряжение, подаваемое на входные гнезда *Гн2, Гн3* (рис. 55), поступает на детектор с удвоением напряжения на диодах *Д1, Д2* и конденсаторах *С2, С3*. Такой детектор реагирует

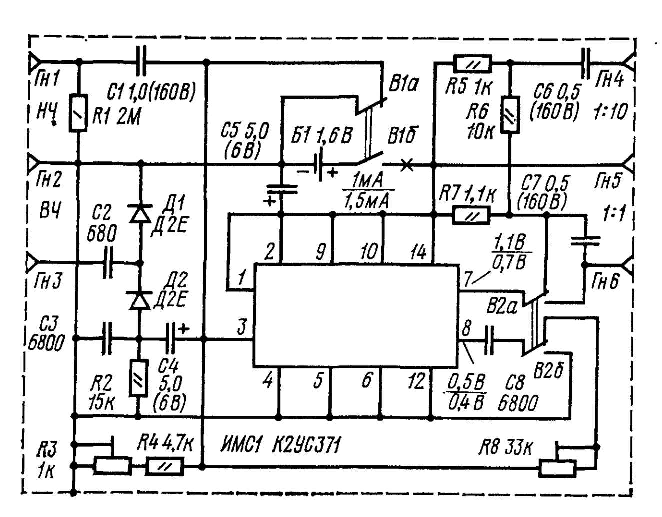


Рис. 55. Принципиальная схема индикатора-генератора (напряжения измерены относительно отрицательного полюса источника питания)

на колебания, модулированные как по амплитуде, так и по частоте. С нагрузки детектора — резистора *R2* — низкочастотное напряжение через разделительный конденсатор *С4* поступает на вход усилителя низкой частоты — вывод *3* гибридной интегральной микросхемы *ИМС1* типа К2УС371. Электрический режим интегральной микросхемы *ИМС1* регулируется подстроечным резистором *R3*.

Для работы прибора в качестве индикатора переключатели *В1а—В1б* и *В2а—В2б* устанавливают в нижнее (по схеме рис. 55) положение. При этом напряжение от источника питания прибора — элемента *Б1*, заблокированного развязывающим конденсатором *С5*, подается на выводы *1, 2, 9, 10* и *14* интегральной микросхемы *ИМС1*. Ее вывод *7* соединяется с выходными гнездами *Гн5, Гн6*, в которые включают головные телефоны, а вывод *8* блокируется конденсатором *С8* для коррекции частотной характеристики усилителя.

Прибор не имеет собственного регулятора усиления, однако громкость звука может регулироваться переменным резистором, которым снабжены некоторые типы головных телефонов. Тембр звука несколько улучшается благодаря корректирующему влиянию цепи *R7C7*, включенной параллельно телефонам.

Для индикации напряжения низкой частоты оно подается на входные гнезда *Гн1, Гн2*, через разделительный конденсатор *С1* поступает на вывод *3* интегральной микросхемы *ИМС1* и усиливается ею. После отключения прибора от обследуемого устройства конденсатор *С1*, который мог зарядиться от него, разряжается через резистор *R1*.

Для работы в качестве генератора переключатель *В2а—В2б* переводят в верхнее (по схеме рис. 55) положение. В цепь вывода *7* интегральной микро-

схемы *ИМС1* включается нагрузочный резистор *R7*, а вывод *8* соединяется с выводом *3* через цепь положительной обратной связи *C8R8*. При налаживании прибора подстроечным резистором *R8* устанавливается частота генерируемых колебаний около 1000 Гц. Они имеют форму прямоугольных импульсов с крутыми фронтами. Спектр последовательности таких импульсов представляет собой сетку дискретных частот с шагом около 1000 Гц. При этом любая из этих частот может рассматриваться как несущая, от которой отстоят на 1000 Гц нижняя и верхняя боковые частоты, что эквивалентно амплитудной модуляции несущей частоты частотой 1000 Гц. Спектр простирается примерно до 0,5 МГц, что позволяет проверять с помощью прибора тракты низкой, промежуточной и частично высокой частот радиоприемников.

Выходное напряжение генератора с резистора *R7* поступает на гнездо *Гн6* через разделительный конденсатор *C7*. Для его ослабления в отношении 1 : 10 служит резистивный делитель *R5*, *R6*, с которого напряжение через разделительный конденсатор *C6* подается на гнездо *Гн4*. Таким образом, полное выходное напряжение снимается с гнезд *Гн5*, *Гн6*, а ослабленное — с гнезд *Гн4*, *Гн5*. Для контроля выходного напряжения в эти гнезда можно включать головные телефоны.

Прибор выключается при переводе переключателя *В1а—В1б* в верхнее (по схеме рис. 55) положение. При этом источник питания *Б1* отключается, а вход прибора закорачивается.

Детали. Диоды *Д1, Д2* могут быть типа Д2Б—Д2Ж или Д9Б—Д9Л. Интегральную микросхему *ИМС1* можно заменить на К2УС372 с сохранением распайки ее выводов согласно схеме рис. 55, но при замене может потребоваться подбор сопротивлений резисторов *R3*, *R4*.

Постоянный резистор *R1* типа МЛТ-0,25 или МЛТ-0,5, прочие — ВС-0,125 или УЛМ-0,12. Подстроечные резисторы *R3* и *R8* типа СПЗ-1а, СПЗ-1б или СПО. Конденсаторы *C1*, *C6*, *C7* типа МБМ; *C2* типа КСО или БМ; *C3*, *C8* типа КДС; *C4*, *C5* типа К50-3 или К50-6, К50-9. Переключатель *В1а—В1б* типа ТВ2-1, *В2а—В2б* типа ТП1-2. Гнезда *Гн1—Гн6* обычной конструкции. Элемент *Б1* типа 332. Индикатор-генератор может работать с высокоомными головными телефонами типа ТОН-2, ТОН-2А и др.

Монтаж и конструкция. Индикатор-генератор смонтирован на гетинаксовой плате размерами 120×68×2 мм, на которой укреплены переключатели *В1а—В1б* и *В2а—В2б*, держатель элемента *Б1* и приклепаны пустотелые латунные пистоны для распайки остальных деталей (рис. 56). Интегральная микросхема *ИМС1* установлена вверх выводами, соединенными с пистонами короткими лужеными проводниками. Несколько таких проводников использовано и в монтаже, но в основном он выполнен выводами самих деталей.

Монтажная плата заключена в металлический корпус размерами 125×72×42 мм и прижата к его съемной крышке гайками, навинченными на пропущенные сквозь отверстия в ней внулки переключателей *В1а—В1б* и *В2а—В2б*. Еще шесть отверстий диаметром 8 мм просверлены в крышке против установленных на плате гнезд *Гн1—Гн6* (рис. 57). Расстояние между платой и крышкой около 4 мм, что предотвращает замыкание монтажных пистонов на крышку.

Налаживание. Значения напряжений и токов прибора указаны на схеме рис. 55: верхние числа — при работе в режиме индикации, нижние — в режиме генерации. Включив телефоны в гнезда *Гн5*, *Гн6* и установив переключатели *В1а—В1б* и *В2а—В2б* в нижнее (по схеме рис. 55) положение, медленно поворачивают движок подстроечного резистора *R3* до появления в телефонах шумов или шорохов. Присоединяют к гнезду *Гн3* антенну длиной несколько метров и, принимая сигналы какой-нибудь радиостанции, подстраивают резистор *R3* по максимуму громкости.

Затем переводят переключатель *В2а—В2б* в верхнее (по схеме рис. 55) положение и изменяют положение движка подстроечного резистора *R8* до появления в телефонах звукового тона. Переключив телефоны в гнезда *Гн4*, *Гн5*, устанавливают регулировкой резистора *R8* частоту звуковых колебаний около 1000 Гц.

Эксплуатация. Для прослушивания на телефоны, включенные в гнезда *Гн5*, *Гн6*, сигналов в низкочастотном тракте проверяемого устройства соединяют его

с гнездами *Гн1, Гн2* и устанавливают переключатели *В1а—В1б* и *В2а—В2б* в нижнее (по схеме рис. 55) положение. Для прослушивания модулированных высокочастотных сигналов их подают на гнезда *Гн2, Гн3*.

При работе прибора в качестве генератора нагрузку подключают к гнездам *Гн4, Гн5* или *Гн5, Гн6*, а переключатель *В2а—В2б* устанавливают в нижнее (по схеме рис. 55) положение. После частичного разряда элемента *Б1* в процессе эксплуатации индикатора-генератора может потребоваться подрегулировка режима интегральной микросхемы *ИМС1* подстроечным резистором *R3*. Ее производят так же, как и при налаживании прибора.

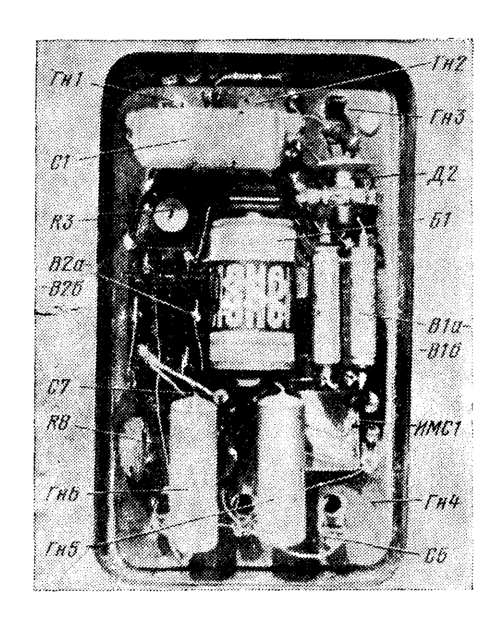


Рис. 56. Монтаж индикатора-генератора

Рис. 57. Внешний вид индикатора-генератора

ИНДИКАТОР-ПРОБНИК

Индикатор-пробник предназначен для проверки радиоаппаратуры посредством прослушивания на головные телефоны низкочастотных и амплитудно-модулированных высокочастотных сигналов. Чувствительность индикатора-пробника на частоте 1000 Гц — 1 мВ, на частотах 0,1—1 МГц при 30%-ной амплитудной модуляции частотой 1000 Гц — 5—10 мВ. Входное сопротивление 3 кОм. Индикатор-пробник питается от одного элемента типа 332, потребляемый ток 10 мА. Габаритные размеры: длина 250 мм, диаметр 36 мм. Масса 120 г.

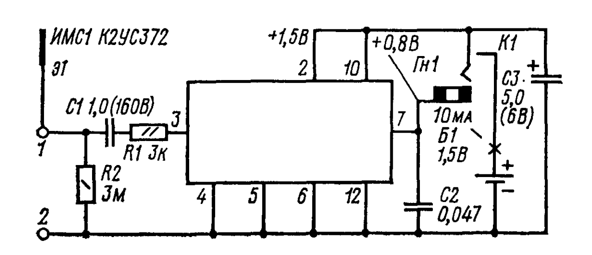


Рис. 58. Принципиальная схема индикатора-пробника (напряжения измерены относительно отрицательного полюса источника питания)

Принципиальная схема. Индикатор-пробник (рис. 58) представляет собой простейший приемник прямого усиления, не имеющий настраиваемых цепей, с выходом на телефоны. Электрические сигналы, поступающие на штыревой электрод (щуп) *Э1*, через разделительный конденсатор *С1* и увеличивающий входное сопротивление резистор *R1* подаются на вывод *3* гибридной интегральной микросхемы *ИМС1* типа К2УС372. Она подобна интегральной микросхеме типа К2УС371 (см. с. 71) и также предназначена для усиления напряжения низкой частоты. Однако применение весьма низкого напряжения питания (1,5 В) приводит к появлению заметной нелинейности амплитудной характеристики микросхемы, благодаря чему становится возможным детектирование амплитудно-модулированных сигналов высокой или промежуточной частоты.

Интегральная микросхема *ИМС1* содержит четыре усилительных каскада, функции которых могут быть различными, в зависимости от амплитуды входного напряжения. Для слабых сигналов амплитудные характеристики первого и второго каскадов практически линейны, и в них происходит усиление модулированного высокочастотного напряжения. В результате оно увеличивается настолько, что третий каскад работает в нелинейном режиме, и в нем осуществляется амплитудное детектирование. Полученное низкочастотное напряжение усиливается четвертым каскадом. При более сильных сигналах детектирование наступает уже во втором или даже первом каскаде, а последующие — усиливают напряжение низкой частоты.

В интегральной микросхеме типа К2УС372 имеется еще один каскад, который служит для стабилизации электрического режима других каскадов. Кроме того, для обеспечения устойчивой работы индикатора-пробника вывод *7* интегральной микросхемы *ИМС1* заблокирован конденсатором *С2*, имеющим малое сопротивление токам высокой частоты.

К выводу *7* интегральной микросхемы *ИМС1* через комбинированное гнездо *Гн1* присоединяется нагрузка — низкоомные головные телефоны. При включении штекера телефонов в гнездо *Гн1* его контакты *К1* замыкают цепь источника питания — элемента *Б1*. Последний заблокирован конденсатором *С3* для ослабления нежелательных связей между каскадами *ИМС1* через общий источник питания.

При подключении щупа *Э1* к проверяемым устройствам, особенно к ламповым, конденсатор *С1* может зарядиться до высокого напряжения, которое после отключения от устройства оказывается приложенным между входными зажимами *1*, *2*, что нежелательно. Поэтому между зажимами включен резистор *R2*, обеспечивающий достаточно быстрый разряд конденсатора *С1*.

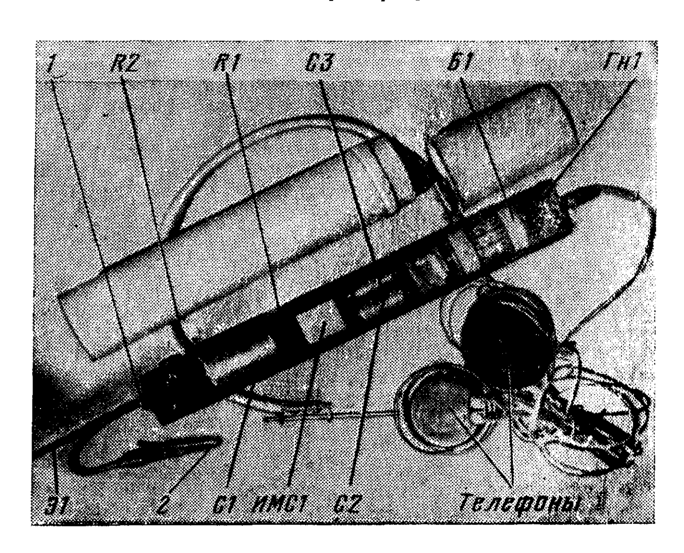


Рис. 59. Индикатор-пробник с телефонами и его корпус

Конструкция и детали. Индикатор-пробник смонтирован в разъемном цилиндрическом корпусе длиной 205 мм, диаметром 36 мм из ударопрочного полистирола. В корпусе помещается гетинаксовая монтажная плата размерами 200×25×2 мм (рис. 59). На одном конце платы приклепан уголок с отверстием, в котором нарезана резьба *М3*. Он служит зажимом *1*, в который может ввинчиваться щуп *Э1* — шпилька длиной 60 мм с резьбой *М3* на конце. Зажим *2* («крокодил») припаян к гибкому проводнику в полихлорвиниловой изоляции. На другом конце платы приклепан уголок с отверстием, в котором укреплено комбинированное гнездо *Гн1* типа Г2П — телефонное от малогабаритных приемников. Оно подвергнуто небольшой переделке: перестановке двух контактных пружин для того, чтобы при вставленном в гнездо штекере телефонов происходило замыкание контактов *К1*.

К плате приклепаны также две детали из листового металла, образующие держатель элемента *Б1*. Для выводов интегральной микросхемы *ИМС1*, резисторов *R1*, *R2* и конденсаторов *С1*—*С3* в плате просверлены отверстия диаметром 1 мм. Электрические соединения выполнены лужеными непересекающимися проводниками, приклеенными к обратной стороне платы клеем БФ-2. Такой способ монтажа доступнее печатного и допускает многократную пайку.

В индикаторе-пробнике могут применяться конденсаторы *С1*, *С2* типа МБМ или БМ; *С3* типа К50-3 или К50-6, К50-9; резисторы *R1*, *R2* типа МЛТ-0,25 или МЛТ-0,5. Элемент *Б1* типа 332. Индикатор-пробник работает в комплекте с низкоомными головными телефонами типа ТА-56м. Можно использовать малогабаритный телефон типа ТМ-2А, ТМ-2М. В крайнем случае допустимо применение наиболее распространенных высокоомных телефонов типа ТОН-2, ТОН-2А, при параллельном соединении двух телефонов между собой. Двухполюсную вилку телефонов заменяют штекером, соответствующим гнезду *Гн1*.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ НА КВ И УКВ

РЕЗОНАНСНЫЙ ЧАСТОТОМЕР

Резонансный частотомер предназначен для измерения частоты немодулированных и модулированных колебаний в поддиапазонах: I — 3,5—8 МГц; II — 8—21 МГц, III — 21—57 МГц, IV — 57—150 МГц. Связь с объектом измерения индуктивная или емкостная. Чувствительность при измерении частоты немодулированных колебаний 1 мВт. Резонансный частотомер питается от одного элемента типа 332, потребляемый ток не более 1,5 мА. Габаритные размеры частотомера 125×72×65 мм, масса 600 г.

Принципиальная схема. Колебательный контур частотомера (рис. 60) образован конденсатором переменной емкости *С3* и, в зависимости от поддиапазона, одной из четырех сменных катушек *L1*. Каждая из них выполнена в виде отдельного конструктивного узла, обведенного на схеме рис. 60 штрихпунктирными линиями, и присоединяется к частотомеру с помощью разъема *1*—*4*. Имеющаяся в его штыревой части перемычка *3*—*4* включает источник питания — элемент *Б1* при установке сменной катушки в гнездовую часть разъема. Связь контура *L1C3* с объектом измерения может быть индуктивной — через катушку *L1* или емкостной — через гнезда *Гн1*, *Гн2* и конденсатор *С1*.

Напряжение высокой частоты с контура *L1C3* поступает через конденсатор *С2* на детектор с закрытым входом на диоде *Д1*. Высокочастотная составляющая продетектированного напряжения задерживается Г-образным фильтром *R1C6*, а постоянная составляющая приложена в положительной полярности к базе транзистора *Т1*. Транзистор *Т1* структуры *n-p-n* и транзистор *Т2* структуры *p-n-p*, включенные по схеме с общим эмиттером, образуют двухкаскадный усилитель постоянного тока. В цепь коллектора транзистора *Т2* последовательно с ограничительным резистором *R4* включен индикатор резонанса — миллиамперметр *ИП1*.

Особенностью частотомера является отсутствие в нем органа установки стрелки миллиамперметра *ИП1* на нуль. Диод *Д1*, резистор *R1* и эмиттерный переход транзистора *Т1* образуют последовательную цепь, к которой приложено напряжение около 0,6 В, снимаемое с делителя *R2*, *R3*. При отсутствии коле-

баний в контуре L1C3 напряжение на эмиттерном переходе транзистора T1 мало, и ток его коллектора не превышает нескольких микроампер, а ток коллектора транзистора T2 — нескольких десятков микроампер. Начальное отклонение стрелки миллиамперметра ИП1 невелико и может быть скомпенсировано его корректором нуля.

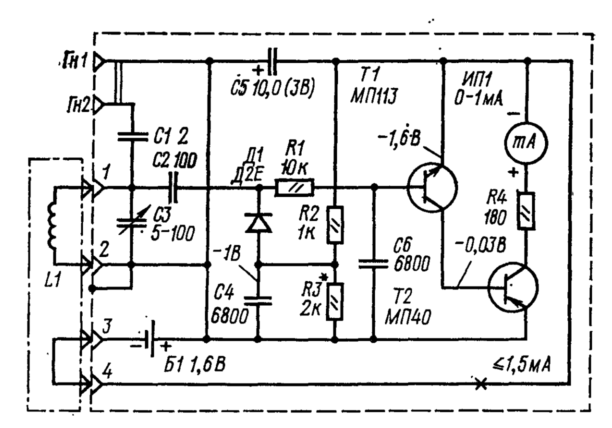


Рис. 60. Принципиальная схема резонансного частотомера (напряжения измерены относительно положительного полюса источника питания)

При возбуждении вынужденных колебаний в контуре L1C3 выпрямленный диодом Д1 ток протекает через эмиттерный переход транзистора T1 и открывает его. Усиленный транзисторами T1, T2 ток вызывает отклонение стрелки миллиамперметра ИП1, которое максимально при настройке контура на измеряемую частоту, когда в нем возникает резонанс токов.

Коэффициент усиления двухкаскадного усилителя по току превышает 100, благодаря чему частотомер обладает высокой чувствительностью. Это позволяет измерять частоту колебаний маломощных генераторов и гетеродинов приемников при очень слабой связи с ними, что способствует более точной настройке контура частотомера. Применение усилителя улучшает также разрешающую способность частотомера, поскольку детектор нагружен сопротивлением свыше 10 кОм и мало шунтирует контур, резонансная кривая которого остается достаточно острой.

Детали. В частотомере установлен конденсатор переменной емкости C3 с воздушным диэлектриком, имеющий 14 неподвижных и 14 подвижных пластин в форме полукруга радиусом 11 мм. Его емкость изменяется в пределах 5—110 пФ. Можно использовать конденсаторы с воздушным диэлектриком от радиоприемников, удалив часть пластин для уменьшения максимальной емкости до требуемого значения. Если удаление пластин нежелательно, то последовательно с конденсатором переменной емкости следует включить такой керамический или слюдяной конденсатор постоянной емкости, чтобы максимальная емкость равнялась 110 пФ. Например, при использовании одной секции конденсатора от приемника «Альпинист», емкость которой изменяется в пределах 9—280 пФ, последовательно с ней нужно включить конденсатор емкостью 180 пФ.

Данные сменных катушек частотомера приведены в табл. 3.

Катушки не имеют подстроечных сердечников, а изменение их индуктивности при налаживании частотомера производится перемещением крайних витков. Катушки помещены внутри пластмассовых восьмиштырьковых цоколей от негодных радиоламп. Выводы катушек пропущены сквозь штырьки цоколя и припаяны к ним. Проволочная перемычка, замыкающая цепь источника питания, должна соединять два ближайших штырька кратчайшим путем, чтобы она не оказывала влияния на катушку. Цоколь предохраняет катушку от повреждений и служит штыревой частью разъема 1—4. В качестве его гнездовой части использована керамическая ламповая панель типа ПЛК-8.

Индикатором резонанса является миллиамперметр ИП1 типа М20 с током полного отклонения 1 мА и внутренним сопротивлением 350 Ом. Можно при-

Таблица 3

Данные катушек резонансного частотомера

Поддиапазон	Частота, МГц	Диаметр, мм	Провод	Число витков	Индуктивность, мкГн	Примечание
I	3,5—8	23	ПЭВ 0,5	33	20	Однослойная
II	8—21	23	ПЭВ 0,8	12	3,5	Однослойная
III	21—57	11	ПЭВ 0,8	8	0,6	Однослойная
IV	57—150	11	ПЭВ 1,0	2	0,06	Бескаркасная, с шагом 3 мм

менить другие приборы как большей, так и меньшей чувствительности. Удовлетворительные результаты получаются даже при использовании миллиамперметра с током полного отклонения 5 мА без ограничительного резистора *R4*.

Транзистор *T1* типа МП113 можно заменить кремниевыми транзисторами структуры *n-p-n* других типов, например МП111, КТ315Б—КТ315Е со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21Э}=15\div25$. Транзистор *T2* типа МП40 может быть заменен любым германиевым сплавным транзистором структуры *p-n-p* с $h_{21Э}=20\div30$, например, типа МП39—МП42, МП25—МП26. Диод *Д1* типа Д2Е можно заменить диодами типа Д2Б—Д2Ж или Д10—Д14, желательно с малым обратным током.

Постоянные резисторы *R1—R4* типа ВС-0,125 или УЛМ-0,12, причем *R3* подбирают при налаживании из двух резисторов, соединенных последовательно. Конденсаторы *C1*, *C2* типа КТК или КДК, *C4—C6* типа КДС или КЛС, *C5* типа К50-3 или К50-6, К50-9. Гнезда *Гн1*, *Гн2* обычной конструкции могут быть заменены одним коаксиальным гнездом от антенного входа телевизора. Элемент *Б1* типа 332.

Конструкция и монтаж. Частотомер смонтирован в металлическом корпусе размерами 125×72×42 мм со съемной крышкой, которая является верхней панелью прибора (рис. 61). На ней расположены миллиамперметр *ИП1* и ручка конденсатора переменной емкости *C3* с визирным диском из оргстекла и шкалой, имеющей 100 равномерных делений.



Рис. 61. Внешний вид резонансного частотомера

Рис. 62. Монтаж резонансного частотомера

К крышке корпуса прикреплен конденсатор переменной емкости *С3* и в непосредственной близости от него — уголковый кронштейн с установленными на нем гнездами *Гн1, Гн2* и панелью типа ПЛК-8, которая служит гнездовой частью разъема *1—4*. При таком расположении сменные катушки *L1* соединяют с конденсатором *С3* кратчайшими проводниками, что улучшает работу частотомера на наиболее высокочастотном поддиапазоне IV.

Мелкие детали расположены на гетинаксовой плате размерами 80×60×2 мм, которая прикреплена к миллиамперметру *ИП1* гайками, навинченными на его выводы (рис. 62). Плата имеет фигурный вырез для конденсатора переменной емкости *С3* и круглое отверстие диаметром 22 мм для элемента *Б1*. Его положительный вывод упирается в металлическую чашку, приклепанную к крышке корпуса, а дно стакана, являющегося отрицательным выводом, прижимается установленным на плате держателем.

Электрические соединения выполнены в основном выводами деталей и несколькими короткими жесткими проводниками.

Налаживание и градуировка. После проверки монтажа вставляют в разъем *1—4* сменную катушку поддиапазона I и устанавливают электрический режим транзистора *Т1*. Для этого уменьшают сопротивление резистора *R3* (удобно временно использовать переменный или подстроечный резистор) вплоть до отпирания транзистора *Т1*, которое вызывает отклонение стрелки миллиамперметра *ИП1* за пределы его шкалы. Измерив омметром (авометром) введенное сопротивление резистора *R3*, заменяют его постоянным резистором, сопротивление которого на 5—10% больше. Для облегчения его подбора соединяют последовательно резистор сопротивлением 1,8 кОм и резистор, сопротивление которого подбирают в пределах 100—510 Ом. После установки подобранного резистора *R3* ток коллектора транзистора *Т2* не превышает 30—50 мкА. Стрелку миллиамперметра *ИП1* возвращают на нуль шкалы его механическим корректором нуля.

Для установки границ поддиапазонов и градуировки частотомера необходимы генераторы сигналов, перекрывающие диапазон частот 3,5—150 МГц, например, типа Г4-1А (ГСС-6А) и Г4-7А (ГСС-7А) или Г3-8 (ГМВ). Подав на гнезда *Гн1*, *Гн2* сигнал частотой 3,4 МГц, устанавливают максимальную емкость конденсатора *С3* и перемещением крайних витков катушки *L1* поддиапазона I добиваются резонанса по наибольшему отклонению стрелки миллиамперметра *ИП1*. Уменьшая емкость конденсатора *С3* и перестраивая генератор сигналов, определяют максимальную частоту поддиапазона I при минимальной емкости конденсатора *С3*.

Вставив в разъем *1—4* катушку поддиапазона II, устанавливают при максимальной емкости конденсатора *С3* минимальную частоту этого поддиапазона равной примерно 95% максимальной частоты поддиапазона I. Затем переводят конденсатор *С3* в положение минимальной емкости и, перестраивая генератор сигналов, определяют максимальную частоту поддиапазона II.

Границы остальных поддиапазонов устанавливают аналогичным методом. Они могут оказаться несколько смещенными по сравнению с указанными в табл. 3, особенно при использовании конденсатора *С3*, пределы изменения емкости которого отличаются от приведенных на схеме рис. 60. Это не имеет принципиального значения, важно лишь, чтобы смежные поддиапазоны имели взаимоперекрытие приблизительно 5% значения граничной частоты.

Для градуировки частотомера определяют резонансные частоты в 10—20 точках его шкалы на каждом поддиапазоне при возможно меньшем выходном напряжении генератора сигналов. По полученным данным составляют градуировочные таблицы или строят графики зависимости частоты от показаний шкалы.

Эксплуатация. Перекрываемый частотомером диапазон 3,5—150 МГц обеспечивает измерение частоты гетеродинов КВ и УКВ приемников, задающих генераторов, промежуточных и выходных каскадов передатчиков. Измерения удобнее производить при индуктивной связи, так как она легко регулируется перемещением частотомера относительно катушки того контура, частота которого подлежит измерению, и не требуется подключение соединительных проводников. Недостатком индуктивной связи является невозможность связать частотомер с экранированными катушками. В этом случае, а также при невозможно-

сти приблизить частотомер к соответствующим катушкам объекта измерения из-за тесного расположения его деталей приходится применять емкостную связь. Иногда бывает достаточно приблизить конец проводника, включенного в гнездо *Гн2*, к цепям объекта, в которых действует напряжение измеряемой частоты.

При измерениях следует устанавливать такую связь с объектом, чтобы после настройки частотомера в резонанс стрелка его индикатора отклонялась не более чем на 2/3 шкалы. При чрезмерно сильной связи с маломощными генераторами может возникнуть так называемое затягивание их частоты: перестройка контура частотомера будет изменять частоту генератора. Недопустима слишком сильная связь также и с мощными генераторами или передатчиками, так как при очень большом напряжении на контуре частотомера может быть поврежден его детекторный диод.

СИГНАЛ-ГЕНЕРАТОР

Сигнал-генератор предназначен для проверки и настройки коротковолновой и ультракоротковолновой аппаратуры. Он вырабатывает немодулированные и амплитудно-модулированные колебания в поддиапазонах: I — 5—8 МГц, II — 7,5—14,5 МГц, III — 14—29 МГц, IV — 28—58 МГц, V — 56—116 МГц, VI — 112—230 МГц. Напряжение на выходах сигнал-генератора 10 и 1 мВ, выходное сопротивление 75 Ом. Частота модуляции 1000 Гц. Сигнал-генератор питается от одного элемента типа 332, потребляемый ток не более 2 мА. Габаритные размеры сигнал-генератора 125×72×65 мм, масса 400 г.

Принципиальная схема. Сигнал-генератор (рис. 63) состоит из модулятора на транзисторах *Т1*, *Т2* и высокочастотного генератора на транзисторе *Т3*. Модулятор представляет собой мультивибратор с эмиттерной связью (см. с. 52). Он включается переключателем *В1*, который замыкает цепь эмиттеров транзисторов *Т1*, *Т2* и соединяет их через конденсатор *С5* с базой транзистора *Т3*.

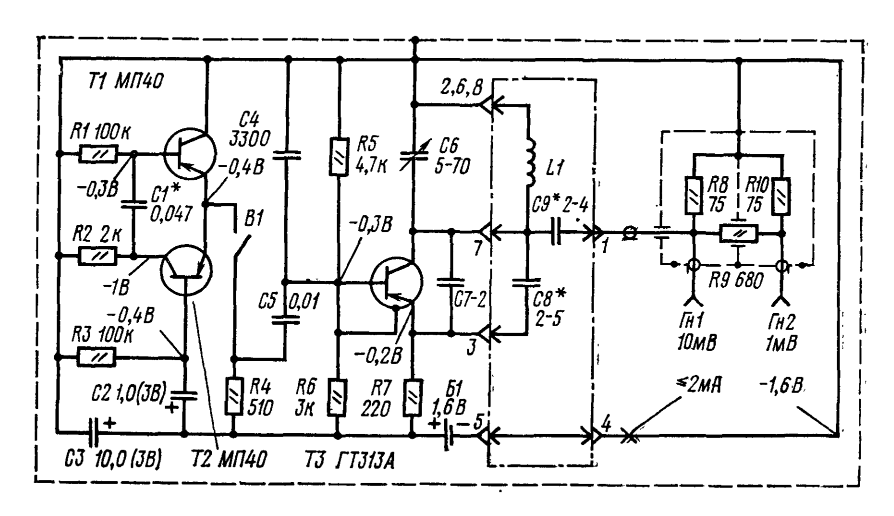


Рис. 63. Принципиальная схема сигнал-генератора (напряжения измерены относительно положительного полюса источника питания)

Генератор высокой частоты собран на транзисторе *Т3* по схеме с общей базой, которая соединена с отрицательным полюсом источника питания через конденсатор *С4*, имеющий малое сопротивление для высокочастотных токов и большое — для токов с частотой модуляции. Режим транзистора *Т3* задается с помощью делителя напряжения *R5*, *R6*. Колебательный контур генератора образован конденсатором переменной емкости *С6* и катушкой *L1*. Катушки *L1* с конденсаторами *С8*, *С9* каждого из поддиапазонов выполнены в виде сменного

узла, обведенного на схеме рис. 63 штрихпунктирными линиями и присоединяемого к сигнал-генератору с помощью разъема *1—8*. При включении сменного узла в гнездовую часть разъема *1—8* перемычка *4—5* в его штыревой части замыкает цепь источника питания — элемента *Б1*. Напряжение положительной обратной связи поступает с коллектора транзистора *Т3* через конденсатор *С7* и один из сменных конденсаторов *С8* на его эмиттер, в цепь которого включен резистор *R7*.

Высокочастотное напряжение с контура *L1C6* через сменный конденсатор *С9* и короткий отрезок коаксиального кабеля подается на экранированный аттенюатор *R8—R10* с выходным сопротивлением 75 Ом. Благодаря соответствующему выбору емкостей сменных конденсаторов *С9* на всех поддиапазонах на выходном коаксиальном гнезде *Гн1* получается высокочастотное напряжение, близкое к 10 мВ, а на гнезде *Гн2* — 1 мВ. Для ослабления проникания высокочастотного излучения помимо выходных гнезд подвижные пластины конденсатора переменной емкости *С6* непосредственно соединены с экранирующим корпусом сигнал-генератора. Кроме того, такое соединение полностью устраняет влияние прикосновения к ручке настройки конденсатора *С6* на частоту сигнал-генератора.

Детали. Конденсатор переменной емкости *С6* с воздушным диэлектриком состоит из 9 неподвижных и 10 подвижных пластин в форме полукруга радиусом 11 мм. Можно использовать одну из секций конденсаторов от радиоприемников «Альпинист», «Спидола», «ВЭФ-12» и т. п., удалив часть их пластин для изменения емкости в пределах 5—70 пФ.

Сменные катушки *L1*, данные которых приведены в табл. 4, вместе со сменными конденсаторами *С8*, *С9* помещены внутри восьмиштырьковых пластмассовых цоколей от неисправных радиоламп. Штырьки *4—5* соединены между собой проволочной перемычкой. Изменение индуктивности катушек при налаживании достигается перемещением их крайних витков.

Таблица 4

Данные катушек сигнал-генератора

Поддиапазон	Частота, МГц	Диаметр, мм	Провод	Число витков	Индуктивность, мкГн	Примечание
I	5—8	12	ПЭЛШО 0,35	35	12	Внавал
II	7,5—14,5	12	ПЭВ 0,5	25	4	Однослойная
III	14—29	12	ПЭВ 0,8	15	1,6	Однослойная
IV	28—58	8	ПЭВ 1,0	10	0,5	Бескаркасная, с шагом 2 мм
V	56—116	8	ПЭВ 1,0	4,5	0,1	Бескаркасная, с шагом 4 мм
VI	112—230	—	МГ 1,5	—	—	Х-образная перемычка между штырьками *2, 4, 6, 8*

Гнездовой частью разъема *1—8* служит керамическая ламповая панель типа ПЛК-8. Коаксиальные гнезда *Гн1*, *Гн2* от антенного входа телевизора. Переключатель *В1* типа ТВ2-1.

В модуляторе можно использовать транзисторы *Т1*, *Т2* типа МП39—МП42 со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21Э}=15\div25$. Транзистор *Т3* генератора высокой частоты типа ГТ313А или ГТ313Б с $h_{21Э}=30\div50$.

Резисторы *R1—R7* типа ВС-0,125 или УЛМ-0,12, *R8—R10* типа МЛТ-0,5 или МЛТ-0,25 с допуском 5%. Конденсатор *С1* типа МБМ или БМ, *С2*, *С3* типа К50-9 или К50-3, остальные — керамические. Элемент *Б1* типа 332.

Конструкция и монтаж. Большинство деталей сигнал-генератора, за исключением переключателя *В1*, гнезд *Гн1*, *Гн2* и резисторов *R8—R10*, смонти-

ровано на гетинаксовой плате размерами 85×60×2 мм (рис. 64). На ней установлен конденсатор переменной емкости *C6*, непосредственно на котором укреплена панель типа ПЛК-8 — гнездовая часть разъема *1—8*, благодаря чему сменные катушки *L1* соединяются с конденсатором *C6* кратчайшими проводниками. Минимальная длина этих проводников необходима для обеспечения устойчивой работы сигнал-генератора на наиболее высокочастотном поддиапазоне VI. Транзисторы, резисторы и конденсаторы распаяны на монтажных стойках, изготовленных из луженого провода и укрепленных в отверстиях платы. Электрические соединения между ними выполнены короткими жесткими проводниками, проложенными на обратной стороне платы.

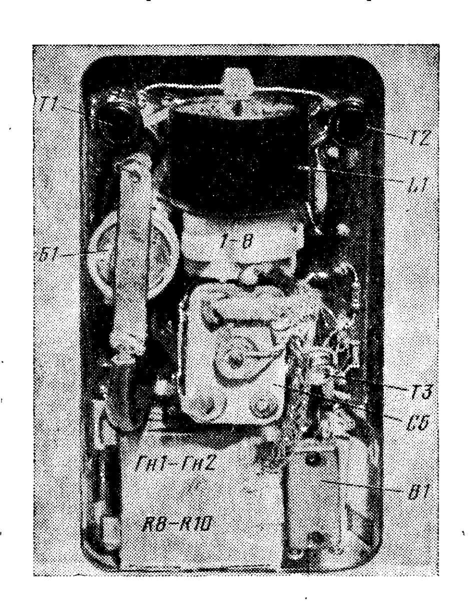
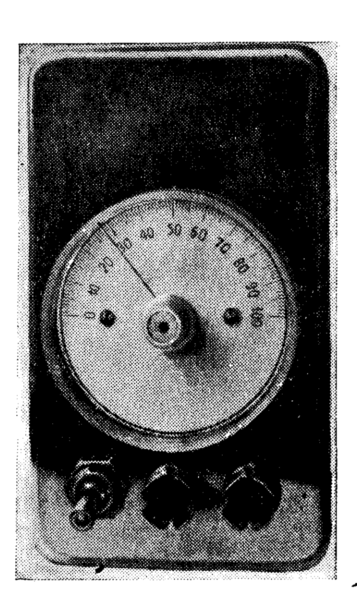


Рис. 64. Монтаж сигнал-генератора


Рис. 65. Внешний вид сигнал-генератора

Резисторы *R8—R10* и коаксиальные гнезда *Гн1, Гн2* образуют отдельный конструктивный узел аттенюатора, экранированный от остальных деталей сигнал-генератора латунной (можно заменить белой жестью) коробкой размерами 38×32×16 мм с пропаянными швами. Внутри нее впаяна латунная перегородка, экранирующая один от другого резисторы *R8* и *R10*, с отверстием, через которое проходит резистор *R9*. Узел аттенюатора соединен с гнездом *1* разъема *1—8* коротким отрезком коаксиального кабеля любой марки с волновым сопротивлением 75 Ом, оплетка которого на одном конце припаяна к латунной коробке, а на другом — к выводу подвижных пластин конденсатора *C6*.

Плата с установленными на ней деталями, узел аттенюатора и переключатель *B1* заключены в металлический корпус размерами 125×72×42 мм со съемной крышкой. Между ней и платой помещена гетинаксовая прокладка, изолирующая монтажные соединения от корпуса. Через отверстия в прокладке и крышке корпуса, являющейся лицевой панелью сигнал-генератора, проходят ось конденсатора *C6*, втулка переключателя *B1* и коаксиальные гнезда *Гн1, Гн2*. На ось конденсатора *C6* надета ручка с визирным диском из оргстекла, под которым расположена бумажная шкала со 100 равномерными делениями (рис. 65).

Для уменьшения просачивания высокочастотного излучения из корпуса диаметр отверстия под ось конденсатора *C6* сделан близким к диаметру оси. Она охвачена петлевой пружиной из стальной проволоки (можно использо-

вать булавку), прижатой к внутренней поверхности крышки винтом с гайкой. Под гайку поджат лепесток, непосредственно спаянный с выводом подвижных пластин конденсатора *С6*. Диаметры отверстий под коаксиальные гнезда *Гн1, Гн2* подогнаны так, что внешние металлические части гнезд проходят сквозь отверстия с большим трением и за счет их упругости обеспечивается надежное электрическое соединение с крышкой корпуса, необходимое для ослабления просачивания излучений.

Налаживание и регулировка. Вставив в разъем *1—8* сменную катушку поддиапазона I и включив модуляцию переключателем *В1*, измеряют напряжения, примерные значения которых указаны на схеме рис. 63. Для проверки модулятора соединяют выводы резистора *R4* со входом звукоснимателя приемника. При этом должен быть слышен громкий звук с частотой около 1000 Гц.

Налаживание, установку границ поддиапазонов и предварительную градуировку сигнал-генератора можно производить с помощью резонансного частотомера, описанного на с. 78—82. Не закрывая корпус сигнал-генератора, устанавливают такую связь между его катушкой и катушкой частотомера, чтобы при настройке в резонанс индикатор частотомера регистрировал один четкий максимум. Появление двойного максимума является признаком чрезмерно сильной связи, которую ослабляют удалением частотомера от сигнал-генератора.

Установив максимальную емкость конденсатора *С6* и вставив в разъем *1—8* сменную катушку поддиапазона I, измеряют частоту сигнал-генератора, которая должна быть близка к 4,9 МГц. Подгонку частоты к этому значению производят перемещением крайних витков катушки. Затем устанавливают минимальную емкость конденсатора *С6* и измеряют частоту, которая должна равняться 8 МГц или более. Вставив в разъем сменную катушку поддиапазона II, устанавливают его минимальную частоту 7,5 МГц при максимальной емкости конденсатора *С6*. Затем при его минимальной емкости измеряют максимальную частоту поддиапазона II, которая должна быть равна 14,5 МГц или более.

Аналогично устанавливают границы остальных поддиапазонов, при необходимости изменяя индуктивность соответствующих катушек перемещением их крайних витков. Минимальную частоту поддиапазона VI можно регулировать, изменяя длину проволочной перемычки (см. табл. 4), индуктивность которой входит в контур сигнал-генератора.

Измерение и подгонка выходного напряжения на гнезде *Гн1* возможны с помощью милливольтметра типа В3-36, на частотах до 75 МГц — типа В3-12 (МВЛ-8), а до 30 МГц — типа В3-4 (МВЛ-4). Присоединив вход милливольтметра к гнезду *Гн1*, подбирают емкость конденсаторов *С9* до получения напряжения 10 мВ на средней частоте каждого поддиапазона сигнал-генератора при выключенной модуляции.

При отсутствии милливольтметра можно приближенно установить выходное напряжение методом его сравнения с напряжением образцового генератора сигналов, например, типа Г4-1а (ГСС-6А) на частотах до 25 МГц и Г4-7А (ГСС-7А) или Г3-8 (ГМВ) на более высоких частотах. Напряжения сравниваются с помощью радиоприемника, а на частотах свыше 50 МГц — телевизора, к нагрузке детектора которого присоединен вольтметр постоянного тока с пределом измерения 0,5 или 1 В (см. с. 22) либо микроамперметр с добавочным резистором. В используемом приемнике (телевизоре) желательно отключить автоматическую регулировку усиления, действие которой может маскировать влияние изменений входного напряжения на показания вольтметра.

Гнездо заземления приемника соединяют короткими проводниками с корпусом образцового генератора и налаживаемого сигнал-генератора. На антенное гнездо приемника через подстроечный конденсатор емкостью 4—15 пФ или 6—25 пФ подают немодулированное напряжение 1 мВ от образцового генератора, настроенного на среднюю частоту поддиапазона I налаживаемого сигнал-генератора (около 6,5 МГц). Настроив приемник на максимум показаний вольтметра, изменяют емкость подстроечного конденсатора так, чтобы стрелка вольтметра отклонялась примерно на половину его шкалы. Заметив показания вольтметра, отключают подстроечный конденсатор от об-

разцового генератора и соединяют его с гнездом *Гн2* сигнал-генератора, работающего на поддиапазоне I. Настроив его на частоту приемника по максимуму показаний вольтметра, подбирают емкость конденсатора *С9* так, чтобы вновь получить ранее замеченное показание. После каждой замены конденсатора *С9* при его подборе следует снова подстраивать сигнал-генератор на частоту приемника. Аналогично устанавливают выходное напряжение 1 мВ на гнезде *Гн2* на средних частотах остальных поддиапазонов сигнал-генератора.

При невозможности воспользоваться измерительной аппаратурой рекомендуется установить в сменных узлах сигнал-генератора конденсаторы *С8* и *С9*, емкости которых указаны в табл. 5.

Таблица 5

Емкости сменных конденсаторов сигнал-генератора

Поддиапазон	I	II	III	IV	V	VI
Емкость конденсатора *С8*, пФ	4	5	4	4	3	—
Емкость конденсатора *С9*, пФ	2	2	3	3	3	3

Следует учесть, что изменение емкостей конденсаторов *С8* и *С9* расстраивает контур сигнал-генератора. Поэтому после установки выходных напряжений на всех поддиапазонах необходимо проверить их граничные частоты и, если они сместились, подстроить индуктивности соответствующих сменных катушек.

С помощью резонансного частотомера производят приближенную градуировку сигнал-генератора в 10—20 точках его шкалы на поддиапазонах I—V и частично VI. Однако для осуществления индуктивной связи частотомера с сигнал-генератором корпус последнего необходимо открывать, а в условиях эксплуатации он должен работать с плотно закрытым корпусом, который вносит в контур заметную расстройку. Поэтому градуировку сигнал-генератора нужно уточнить с помощью образцового генератора и сигнал-индикатора (см. с. 71—73).

Немодулированные выходные напряжения 10 мВ от обоих генераторов подают на высокочастотный вход сигнал-индикатора. Установив одну из приближенно известных в результате градуировки по частотомеру частот сигнал-генератора, настраивают на нее образцовый генератор. При настройке возникают биения между колебаниями генераторов, и сигнал-индикатор воспроизводит звук разностной частоты. По мере сближения частот генераторов звуковой тон понижается и при их совпадении исчезает — получаются нулевые биения. Тогда значение частоты сигнал-генератора можно отсчитать по шкале образцового генератора и внести в градуировку соответствующие поправки.

Уточнить градуировку сигнал-генератора по нулевым биениям можно и на дискретных образцовых частотах. Для этого к высокочастотному входу сигнал-индикатора присоединяют выходы сигнал-генератора и кварцевого калибратора частоты, например, типа Ч5-1 (КК-5, КК-6). Можно использовать кварцевый калибратор, описанный ниже (см. с. 87—90). Для получения звуковых, а затем нулевых биений настраивают сигнал-генератор на частоты основных колебаний и их гармоник, поступающих на сигнал-индикатор от кварцевого калибратора.

При отсутствии измерительных приборов градуировку сигнал-генератора уточняют с помощью промышленного вещательного радиоприемника, имеющего КВ и УКВ диапазоны, а на более высоких частотах — с помощью телевизора, антенные входы которых соединяют с гнездом *Гн2*. Включают модуляцию сигнал-генератора и настраивают приемник на приближенно известную частоту сигнала по максимальной громкости звука, а телевизор — по максимальной контрастности черно-белых полос на экране. Частоты 5—12 МГц (поддиапазоны I—II сигнал-генератора) принимаются на КВ диапазоне приемника, гармоники частот 14—36 МГц (поддиапазоны III—IV) и частоты 66—73 МГц (поддиапазон V) — на УКВ диапазоне. Частоты 50—100 МГц (под-

диапазоны IV—V) принимаются телевизором на 1—5-м телевизионных каналах, гармоники частот 100—115 МГц (поддиапазон V) на 9—12-м каналах, частоты 170—230 МГц (поддиапазон VI) на 7—12-м каналах. При уточнении градуировки с помощью телевизора частоту сигнал-генератора принимают равной несущей частоте сигнала изображения соответствующего телевизионного канала. Частоту модуляции 1000 Гц устанавливают с помощью телевизора (см. с. 57) подбором емкости конденсатора *C1*.

По окончании градуировки составляют градуировочные таблицы или графики для каждого из поддиапазонов сигнал-генератора. Изготовить шкалу малых размеров, градуированную в мегагерцах, можно фоторепродукционным способом, описанным ниже (см. с. 98).

Эксплуатация. Для настройки с помощью сигнал-генератора чувствительной радиоприемной или телевизионной аппаратуры необходимо ослаблять его выходной сигнал выносным аттенюатором. Схема аттенюатора с выходным сопротивлением 75 Ом, ослабляющего напряжение сигнал-генератора в отношениях 1 : 10, 1 : 100 и 1 : 1000, приведена на рис. 66. Резисторы *R1—R6* выносного аттенюатора могут быть типа ВС-0,125, МЛТ-0,25 или МЛТ-0,5 с допуском 5%. Коаксиальные гнезда *Гн1—Гн4* от антенного входа телевизора. Штекеры *Ш1—Ш2* соединяют отрезком коаксиального кабеля марки РК-75-4-15 или другого с волновым сопротивлением 75 Ом, длиной 1—1,5 м.

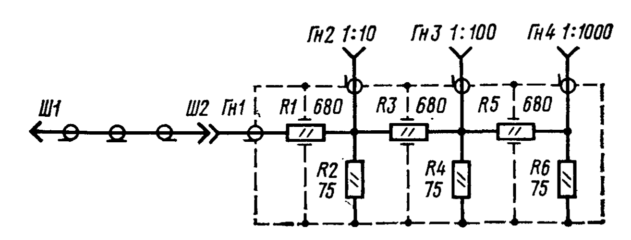


Рис. 66. Схема выносного аттенюатора для сигнал-генератора

Конструкция выносного аттенюатора подобна описанной на с. 47. Он должен быть смонтирован в металлическом корпусе с тремя поперечными перегородками, сквозь отверстия в которых проходят резисторы *R1*, *R3* и *R5*, припаянные к гнездам *Гн1—Гн4*. Нижние (по схеме рис. 66) выводы резисторов *R2*, *R4* и *R6* припаивают непосредственно к корпусу. Аттенюатор закрывается металлической крышкой, припаянной к корпусу.

При настройке или проверке высокочувствительной аппаратуры следует располагать сигнал-генератор на максимальном удалении от выносного аттенюатора и настраиваемого объекта.

КВАРЦЕВЫЙ КАЛИБРАТОР

Кварцевый калибратор предназначен для калибровки и градуировки радиоаппаратуры на фиксированных частотах, устанавливаемых сменными кварцевыми резонаторами в пределах 5—150 МГц. Высокочастотные колебания могут модулироваться по амплитуде частотой 400 Гц. Выходное напряжение калибратора на основных частотах резонаторов не менее 100 мВ. Калибратор питается от одного элемента типа 332, потребляемый ток не более 6 мА. Габаритные размеры калибратора 125×72×62 мм, масса 400 г.

Принципиальная схема. Схема калибратора (рис. 67) состоит из высокочастотного генератора с кварцевой стабилизацией частоты, эмиттерного повторителя и низкочастотного генератора — амплитудного модулятора колебаний высокой частоты.

Высокочастотный генератор, стабилизированный сменными кварцевыми резонаторами *Пэ1*, которые включаются в гнезда *Гн1*, *Гн2* или *Гн3*, *Гн4*, собран по трехточечной схеме с емкостной связью на транзисторе *Т1*. Положительная обратная связь, обеспечивающая возбуждение колебаний резонатора, создается с помощью емкостного делителя напряжения *C1*, *C2*. Для расширения час-

тотного диапазона генератора нагрузка в цепи эмиттера транзистора *Т1* образована последовательно соединенными дросселем высокой частоты *Др1* и резистором *R2*. Напряжение с эмиттера транзистора *Т1* через разделительный конденсатор *С3* поступает на эмиттерный повторитель.

Высокое входное сопротивление и малая входная емкость эмиттерного повторителя на транзисторе *Т2* незначительно нагружают высокочастотный генератор, что благоприятствует поддержанию высокой стабильности частоты его колебаний. С нагрузочного резистора *R4* в цепи эмиттера транзистора *Т2* через разделительный конденсатор *С4* напряжение, в спектре которого содержатся колебания основной частоты резонатора и ее гармоник, поступает на выходное коаксиальное гнездо *Гн5*.

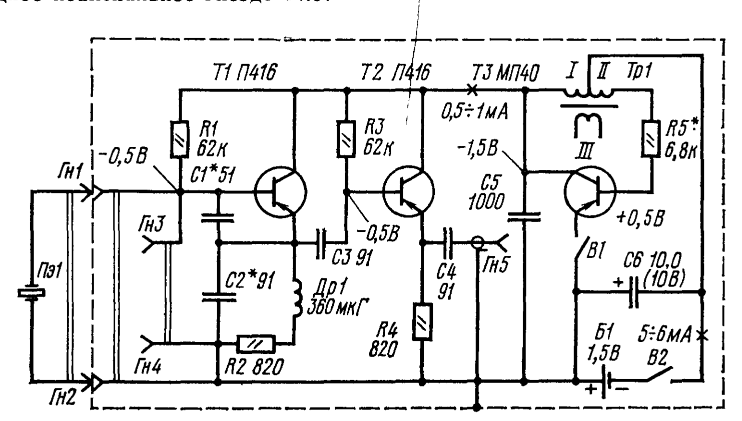


Рис. 67. Прииципиальная схема кварцевого калибратора (напряжения измерены относительно положительного полюса нсточника пнтания)

Амплитудная модуляция осуществляется в цепях коллекторов транзисторов *Т1* и *Т2*, благодаря чему обеспечивается достаточный коэффициент модуляции как основной несущей частоты, так и ее гармоник. Конденсатор *С5* является блокировочным для токов высокой частоты и одновременно входит в контур низкочастотного генератора. Генератор собран по трехточечной схеме с индуктивной связью на транзисторе *Т3* и обмотках *I—II* трансформатора *Тр1*. Резистор *R5* задает необходимую глубину положительной обратной связи на базу транзистора *Т3*, а также его режим по постоянному току. Для выключения модуляции цепь эмиттера транзистора *Т3* разрывается выключателем *В1*.

Калибратор питается от элемента *Б1*, присоединяемого выключателем *В2*. Блокировочный конденсатор *С6* обеспечивает устойчивую работу модулятора и калибратора в целом при частичном разряде элемента *Б1* в процессе эксплуатации.

Детали. Транзисторы *Т1, Т2* могут быть типа П403, П403А, П416, П416А, П416Б, П423. Транзистор *Т3* типа МП39—МП42 или МП25—МП26. Резисторы *R1—R5* типа ВС-0,125 или УЛМ-0,12. Конденсаторы *С1—С4* типа КТК, *С5* типа КДС или КСО, *С6* типа К50-3.

Высокочастотный дроссель *Др1* — корректирующий от телевизоров УНТ-47/59 — содержит 270 витков ПЭЛШО 0,12, намотанных на резисторе МЛТ-0,5. Вместо него можно использовать катушки СВ или ДВ диапазонов от радиоприемников.

Трансформатор *Тр1* — выходной от радиоприемников «Спидола», «ВЭФ-12» (см. данные на с. 61). Пригодны выходные трансформаторы от других транзисторных приемников.

В калибраторе могут работать кварцевые резонаторы *Пэ1* различных типов, в том числе и малоактивные, с основными частотами в пределах 5—21 МГц. Для присоединения резонаторов с различными выводами калибра-

тор снабжен двумя парами гнезд: *Гн1*, *Гн2* под вилки диаметром 4 мм, с расстоянием между их осями 10 мм, и *Гн3*, *Гн4*, в качестве которых использована керамическая ламповая панель типа ПЛК-9, под малогабаритные резонаторы с тонкими штыревыми выводами. Коаксиальное выходное гнездо *Гн5* — от антенного входа телевизора.

Выключатели *В1* и *В2* типа ТВ2-1. Элемент *Б1* типа 332.

Конструкция и монтаж. Все детали калибратора укреплены на гетинаксовой монтажной плате размерами 120×70×2 мм. Для распайки мелких деталей к плате приклепаны контактные лепестки (рис. 68). Электрический монтаж выполнен выводами деталей и короткими голыми проводниками.

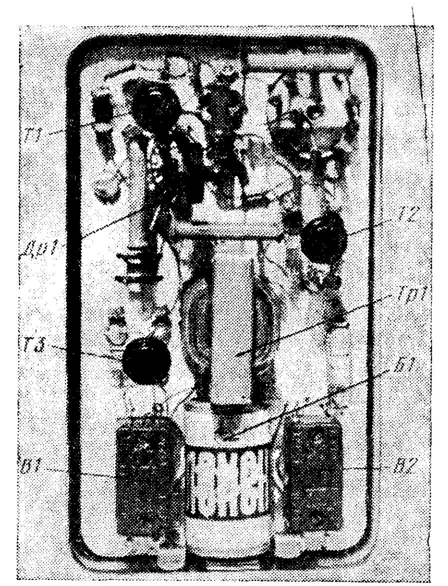


Рис. 68. Монтаж кварцевого калибратора

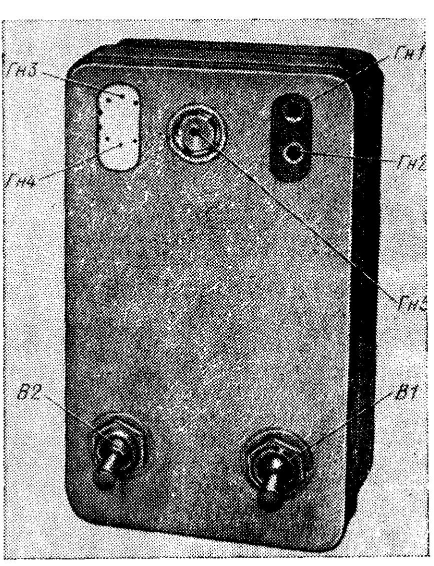


Рис. 69. Внешний вид кварцевого калибратора

Плата со смонтированными на ней деталями помещена в металлический корпус размерами 125×72×42 мм со съемной крышкой, которая служит лицевой панелью калибратора. В ней сделаны отверстия для втулок выключателей *В1*, *В2* и против гнезд *Гн1*, *Гн2*, *Гн3*, *Гн4* и *Гн5*, установленных на плате. Ее крепят к крышке корпуса гайками, навинченными на втулки выключателей *В1*, *В2*. Внешний вид калибратора показан на рис. 69.

Налаживание. Включив в гнезда *Гн1*, *Гн2* или *Гн3*, *Гн4* кварцевый резонатор и замкнув выключатели *В1*, *В2*, проверяют режим транзисторов. Примерные значения напряжений и токов в цепях калибратора приведены на схеме рис. 67. При отключении резонатора режим транзистора *Т1* несколько изменяется, что является косвенным признаком генерации колебаний данным резонатором.

Для проверки низкочастотного генератора соединяют выводы обмотки *III* трансформатора *Тр1* со входом звукоснимателя радиоприемника. Частоту модуляции можно изменять в широких пределах подбором сопротивления резистора *R5*.

Высокочастотный генератор проверяют, соединив гнездо *Гн5* с антенным входом радиоприемника отрезком коаксиального кабеля для уменьшения уровня помех от радиостанций. Настраивают приемник на основную частоту резонатора или ее гармонику. Модулированный сигнал калибратора прослуши-

вается как звуковой тон, немодулированный — как шипение. При отсутствии сигнала следует подобрать сначала емкость конденсатора *C1*, а если генерация не возникает — *C2*. Для увеличения амплитуд высших гармоник подбирают сопротивления резисторов *R1* и *R3*.

Эксплуатация. Для калибровки шкалы радиоприемника соединяют его антенный вход с выходом калибратора. Сигнал находят, перестраивая приемник вблизи основной частоты резонатора или ее гармоник. Во избежание ложных настроек рекомендуется уменьшать усиление приемника. По полученным опорным точкам на шкале приемника оценивают погрешность ее градуировки.

При калибровке генератора или передатчика сначала настраивают вспомогательный приемник на частоту калибратора и выключают модуляцию. Затем, не изменяя настройки приемника, подстраивают генератор (передатчик) на ту же частоту. При этом большое напряжение на входе приемника подавляет сигнал калибратора. Если же поступающее на приемник напряжение соизмеримо с сигналом калибратора, то при сближении их частот приемник воспроизводит звук разностной частоты (звуковые биения), который при точной подстройке исчезает (нулевые биения). Калибровку генератора или передатчика можно производить и без приемника с помощью сигнал-индикатора. Его вход соединяют с выходом калибратора и слабо связывают с генератором (передатчиком), частоту которого изменяют до получения биений.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРИБОРОВ

ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ СЛЕСАРНЫХ РАБОТ

При изготовлении радиоизмерительных приборов приходится выполнять различные слесарные работы. От их качества зависит внешний вид, а в отдельных случаях — и работоспособность приборов. Для слесарных работ необходимо иметь комплект инструментов, в первую очередь, тот минимум, без которого вообще невозможно обойтись при изготовлении приборов.

Для разметки и проверки правильности обработки деталей нужны: стальная линейка с миллиметровыми делениями, стальной угольник, разметочный циркуль, чертилка и кернер. Для обработки металлов, слоистых материалов и пластмасс требуются следующие инструменты.

1. Тиски настольные — для зажима обрабатываемых заготовок и деталей. Обычно небольшие тиски крепят к рабочему столу струбциной, с помощью которой можно также прижимать к столу листовой материал. Полезно снабдить тиски дополнительными съемными алюминиевыми губками, предохраняющими мягкие материалы от повреждения их поверхности.

2. Наковальня — для правки, рубки и клепки (может быть заменена стальной плитой, днищем от негодного утюга и т. п.). При работе в домашних условиях под наковальню следует подкладывать кусок войлока либо несколько слоев плотной ткани, которые уменьшат сотрясение стола и ослабят звук при ударах.

3. Молоток стальной массой около 300 г — для рубки, гибки и клепки. Желательно также иметь деревянный молоток (киянку) — для правки деформированного листового металла. При отсутствии деревянного молотка можно править металлические листы, нанося удары стальным молотком по доске или куску многослойной фанеры, уложенной поверх листа.

4. Зубило и крейцмейсель — для рубки металла. Можно обойтись только зубилом, но в этом случае оно должно быть узким, так как часто приходится вырубать малые отверстия.

5. Ножницы слесарные — для резки листового металла. При работе с тонким материалом могут быть заменены прямыми хирургическими ножницами, которые изготовляются из высококачественной стали и долго не требуют переточки. Они имеют узкие лезвия, что позволяет вырезать из металла детали сложной формы.

6. Ножовка с полотнами — для резки толстого металла, например, укорачивания осей переключателей и переменных резисторов.

7. Напильники с крупной насечкой (драчевые) и с мелкой (личные) — для опиливания заготовок деталей. Кроме плоских напильников необходимы так-

же: круглый диаметром около 10 мм — для опиливания отверстий под втулки переключателей и переменных резисторов и полукруглый с радиусом закругления 25—30 мм — для опиливания отверстий под стрелочные электроизмерительные приборы.

8. Дрель ручная с набором сверл диаметром от 1 до 5 мм — для сверления отверстий, в том числе под внутренюю резьбу.

9. Метчики черновые и чистовые с воротком — для нарезания внутренней резьбы. В радиолюбительской практике наиболее употребительны винты с резьбой М3, что определяет калибр метчиков. При отсутствии воротка можно нарезать резьбу в мягких металлах и пластмассах, зажав метчик в патрон ручной дрели.

10. Пробойники — для пробивания отверстий в тонком листовом металле, в частности, в белой жести.

ЛУЖЕНИЕ И ПАЙКА

Качество паек, производимых при изготовлении радиоизмерительных приборов, имеет первостепенное значение для их работоспособности и эксплуатационной надежности. Измерительные приборы, при монтаже которых не будет обеспечена надежность паяных соединений, не позволят реализовать заложенные в их схемах технические возможности и не принесут ожидаемой пользы радиолюбителю. Более того, такие приборы могут дезориентировать любителя и оказаться косвенной причиной плохой работы, неисправностей и отказов налаживаемой с их помощью аппаратуры. Поэтому радиолюбитель должен относиться к электрическому монтажу измерительных приборов со всей серьезностью и выполнять пайку весьма тщательно.

Для электрического монтажа радиоизмерительных приборов необходимы следующие инструменты и материалы.

1. Электрический паяльник мощностью 40—60 Вт — для залуживания и пайки проводников и выводов радиодеталей. Он должен иметь достаточно длинный стержень, рабочую часть которого (жало) следует периодически запиливать и залуживать.

2. Нож или скальпель — для зачистки поверхности проводников и выводов деталей перед их залуживанием. Они должны быть хорошо заточены, не иметь зазубрин и других дефектов, вызывающих повреждение тонких проводников.

3. Кусачки-бокорезы или ножницы — для укорачивания проводников и выводов деталей. Ими нельзя пользоваться для других целей, так как затупленные лезвия сминают провода и не дают чистого среза.

4. Пинцет — для поддержания проводников и выводов при пайке. Улучшить теплоотвод от места пайки можно, насадив на концы пинцета отрезки сплющенной медной трубки и опилив их смежные поверхности до их смыкания при сжатии пинцета.

5. Мягкий припой и канифольный флюс — для залуживания и спаивания проводников, монтажных лепестков, пистонов и т. п. Основным для большинства паяных соединений является припой марки ПОС-60, с температурой плавления около 190° С, содержащий по массе 60% олова, 39% свинца и 1% сурьмы. Полупроводниковые диоды и транзисторы с укороченными выводами лучше припаивать легкоплавкими припоями марки ПОСК-50 (50% олова, 32% свинца, 18% кадмия) с температурой плавления 145° С или ПОСВ-33 (33% олова, 34% свинца, 33% висмута) с температурой плавления 130° С.

В качестве флюса при пайке обычно употребляют твердую канифоль, например смычковую, которая в небольших кусках представляет собой светло-желтую, почти прозрачную массу. При пайке в труднодоступных местах удобнее пользоваться жидким флюсом, для приготовления которого толченую канифоль заливают двойным количеством этилового (винного) спирта. Жидкий флюс наносится на место пайки кисточкой и практически не образует остатков. Заметим, однако, что его не рекомендуется применять при монтаже приборов, содержащих высокоомные цепи, в частности, вольтомметра и измерителя сопротивлений и емкостей, так как растекание флюса по поверхности изоляции может уменьшить ее сопротивление.

Для высококачественной пайки необходима оптимальная температура паяльника. При его перегреве, равно как и при недостаточной температуре, получить хорошую пайку нельзя. Обычные электропаяльники рассчитаны на режим интенсивной пайки и при питании их номинальным напряжением и длительных перерывах между пайками сильно перегреваются. Рекомендуется включать паяльник на 220 В, 50 Вт последовательно с лампой накаливания 220 В, 100 Вт. Параллельно лампе, на которой гасится около 40 В, присоединяется выключатель, позволяющий ее закорачивать. Во время подготовительных работ (зачистка и залуживание проводников и выводов деталей), а также при спаивании тонких монтажных проводников и обмоточных проводов паяльник включают в электрическую сеть последовательно с лампой. Когда же производят спаивание нескольких проводников, особенно толстых, или припаивание их к массивным металлическим телам (корпусу прибора, перегородкам, держателям элементов и т. п.), выключатель замыкают и паяльник включается под полное напряжение электросети, что создает сильный нагрев.

Необходимая температура паяльника зависит от состава применяемого припоя и может быть установлена, исходя из следующих признаков. При недостаточном нагреве паяльника припой полностью не расплавляется, а имеет вид кашицеобразной массы без блеска, канифоль медленно растекается по поверхности припоя. Если же паяльник перегрет, припой разбрызгивается, плохо смачивая жало, канифоль кипит, превращаясь в темный нагар. Нормальная температура паяльника характеризуется легким расплавлением небольших кусочков припоя, капли которого хорошо удерживаются жалом, канифоль образует на поверхности припоя тонкую бесцветную текучую пленку.

Подлежащие пайке поверхности проводников, лепестков, монтажных контактов, пистонов и т. п. должны быть предварительно залужены. Выводы радиодеталей также необходимо зачистить до блеска и залудить.

При изготовлении катушек, дросселей и трансформаторов приходится залуживать их выводы, которые обычно выполняют из того же провода, что и обмотки, сложенного в несколько раз для большей прочности. Некоторые трудности может представить зачистка обмоточных проводов марки ПЭВ, имеющих очень прочную изоляцию. Снять ее, не повредив провода, можно лезвием острого ножа или скальпеля, которое удерживают перпендуклярно поверхности провода и перемещают вдоль него с легким нажимом.

Довольно трудоемкой работой является также залуживание многопроволочного высокочастотного провода (литцендрата). Часто рекомендуемые в радиолюбительской литературе приемы, основанные на обжиге изоляции, опасны, так как тонкие проводники после обжига становятся хрупкими и при зачистке легко обрываются. Зачищая обожженный высокочастотный провод, можно просмотреть обрыв нескольких проводников, что приведет к резкому ухудшению параметров намотанной им катушки. Поэтому самым надежным, хотя и трудоемким способом следует признать зачистку и залуживание каждого проводника в отдельности с последующим их скручиванием и пропаиванием.

При выполнении электрического монтажа следует перед пайкой проводников и выводов деталей обеспечить их механическое соединение, которое бы, однако, не исключало возможности последующей распайки, например, при необходимости замены деталей. Для этого залуженные выводы деталей и концы проводников пропускают сквозь отверстия лепестков, вставляют в пустотелые пистоны, накручивают на монтажные контактные штырьки и т. д. Затем уже производится собственно пайка электрических соединений. После прикосновения жала нормально нагретого паяльника бóльшая часть находившегося на нем припоя переходит на место пайки, образуя там блестящую каплю обтекаемой формы. После удаления паяльника припой постепенно отвердевает, признаком чего являются потускнение пайки и прекращение текучести флюса на ее поверхности.

Во время отвердевания пайки (примерно 5 с для припоя марки ПОС-60 и 10 с для припоев марок ПОСК-50 и ПОСВ-33) нельзя перемещать спаиваемые проводники и детали, передвигать монтируемый прибор, ударять по рабочему столу и т. п., чтобы избежать сотрясений, которые могли бы нарушить процесс кристаллизации припоя и явиться причиной ненадежности пайки. Следует учитывать особенность легкоплавких припоев ПОСК-50 и ПОСВ-33, которые весьма быстро отвердевают на поверхности спайки, но внутри ее ос-

таются жидкими еще довольно долго. Поэтому при пайке такими припоями лучше выждать несколько дольше, чтобы иметь уверенность в полном завершении отвердевания припоя. Несколько замедлить окисление поверхности и улучшить вид паек можно, покрыв их цветным лаком, в качестве которого пригоден, в частности, маникюрный лак. Его наносят кисточкой на пайку, предварительно протертую от остатков флюса тампоном, смоченным этиловым (винным) спиртом или ацетоном.

Изложенное выше относится, главным образом, к радиомонтажной пайке. В процессе изготовления измерительных приборов радиолюбителям приходится применять пайку также и для механического скрепления деталей конструкций. Примером могут служить металлические корпуса приборов, экранирующие перегородки и др. В этих случаях обычно требуется спаивание массивных деталей, имеющих большие поверхности и изготовленных из материалов с большой теплопроводностью. Выполнить такие пайки с помощью обычного маломощного паяльника нельзя. Однако, применяя внешний подогрев деталей при их залуживании и спаивании, можно обойтись маломощным паяльником. Для подогревания плоских деталей пригодна электроплитка, желательно с закрытой спиралью. В случае же пространственной формы детали подогрев ее на электроплитке становится неэффективным, и требуется нагревание пламенем, которое должно быть сильным и некоптящим (газовая плита, спиртовка и т. п.).

Детали из белой жести, которая покрыта слоем олова, могут спаиваться без предварительного залуживания. Детали из меди и латуни удовлетворительно лудятся с применением канифольного флюса. Для залуживания стальных деталей необходим химически активный флюс, например водный раствор хлористого цинка. Во избежание коррозии детали, залуженные или спаянные с помощью хлористого цинка, должны быть промыты в горячей воде, затем в растворе двууглекислого натрия (пищевой соды) и, наконец, снова в горячей воде.

НАМОТОЧНЫЕ РАБОТЫ

Самодельные радиоизмерительные приборы содержат различные моточные детали: катушки, магнитные антенны, высокочастотные дроссели, трансформаторы, проволочные резисторы. При изготовлении моточных деталей, особенно контурных катушек, нужно учитывать, что их параметры, и в первую очередь индуктивность, зависят не только от числа витков обмотки, но также от ее геометрических размеров, диаметра провода, размеров и магнитной проницаемости сердечника. Поэтому следует придерживаться указанных в описаниях конструктивных данных.

Выполнение однослойных катушек со сплошной или шаговой намоткой обычно не вызывает затруднений. Многослойные катушки в любительских условиях чаще всего наматываются «внавал». Перед началом намотки укладывают вдоль каркаса и приклеивают в месте расположения катушки три-четыре нитки, поверх которых наматывают катушку. Намотав несколько десятков витков, завязывают противоположные концы ниток узлами и, не обрезая их, продолжают намотку. После очередных нескольких десятков витков снова завязывают узлы и т. д. При таком способе крепления витков исключается их сползание в процессе намотки и обеспечивается выдерживание нужных размеров катушки. Для большей прочности и влагостойкости полезно покрыть поверхность готовой катушки полистирольным клеем, который приготовляют, растворяя кусочки полистирола в бензоле или ксилоле.

В некоторых приборах применены тороидальные катушки и трансформаторы, намотанные на кольцевых ферритовых сердечниках. Перед намоткой следует скруглить острые выступы кольца (рис. 70,*а*) и придать ему форму, близкую к тороидальной (рис. 70,*б*). Ввиду исключительной твердости феррита обработать его можно только абразивным кругом или крупнозернистой наждачной шкуркой. Намотку выполняют с помощью челнока, изготовленного из провода диаметром 0,3—0,5 мм согласно рис. 70,*в*. Два отрезка залуженного провода изгибают, складывают вместе, спаивают и тщательно зачищают. После зачистки поверхность челнока должна быть совершенно гладкой, а торцы проводов за-

круглены. Намотав на челнок нужное количество обмоточного провода, перематывают его на кольцевой сердечник, для чего многократно продевают челнок сквозь отверстие кольца. Во избежание повреждения изоляции и обрыва наматываемого провода рекомендуется продевать челнок снизу вверх, не делая резких движений.

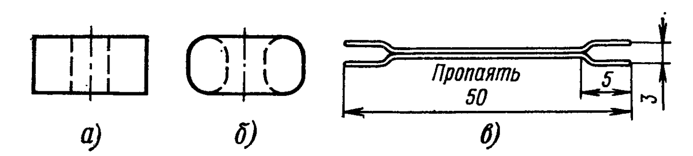


Рис. 70. Ферритовые кольца и челнок для их намотки:
а — кольцо до обработки; *б* — то же, после обработки; *в* — челнок

Следует категорически предостеречь от попыток намотки катушек и трансформаторов на предварительно разломленных и по окончании намотки вновь склеенных кольцах. В данном случае такой способ намотки совершенно неприемлем, так как приводит к существенному уменьшению действующей магнитной проницаемости сердечника. В результате индуктивность намотанной на нем катушки будет значительно меньше требуемой, а трансформатор окажется неработоспособным или будет работать плохо. Намотка на неповрежденном кольце является единственно возможной, что вынуждает примириться с ее трудоемкостью.

Выводы тороидальных катушек и трансформаторов делают из того же провода, что и сами обмотки, сложенного в несколько раз и продетого в поливинилхлорвиниловую трубочку, которую для большей прочности прикрепляют к кольцу ниткой. Провод нужно складывать так, чтобы образующиеся при этом петли после спаивания между собой всех проводников вывода не создавали охватывающих сердечник короткозамкнутых витков. Готовую катушку или трансформатор желательно покрыть полистирольным клеем.

МАКЕТИРОВАНИЕ И КОМПОНОВКА

До окончательного конструктивного оформления изготавливаемого измерительного прибора целесообразно предварительно испытать его в действии, для чего он может быть собран в виде временного макета. Для сборки макетов достаточно иметь монтажную плату размерами 200×150×2 мм из любого изоляционного материала. На ней располагают источник питания с его выключателем, шины питания и лепестки для припаивания деталей, изготовленные из белой жести или луженого провода. Желательно установить на плате три-четыре транзисторные панельки, что позволяет избежать перегрева транзисторов при монтаже и облегчает их подбор и замену.

Большинство описанных выше приборов, за исключением резонансного частотомера и сигнал-генератора, может быть полностью налажено и отрегулировано на макетах. Благодаря достаточно большим размерам макетной платы детали размещают свободно, а их выводы не укорачивают при монтаже. Это позволяет производить различные эксперименты, не рискуя повредить используемые транзисторы и другие детали.

По окончании макетных испытаний и подбора деталей переходят к компоновке прибора, т. е. к выбору наилучшего расположения его узлов и деталей. При этом руководствуются различными соображениями: легкостью выполнения монтажа, удобством эксплуатации прибора, отсутствием вредных связей между его элементами, минимальным количеством и длиной соединительных проводников, рациональными размерами монтажной платы и корпуса прибора и др.

Для всех описанных приборов приведены фотографии, на которых указано расположение основных деталей, однако в случае их замены другими может возникнуть необходимость изменения компоновки. Оптимальное расположение деталей находят опытным путем, для чего раскладывают их на листе картона и передвигают до тех пор, пока не будет найден наилучший вариант размеще-

ния. В первую очередь крупные детали: стрелочные измерительные приборы, переключатели, переменные резисторы, источники питания, конденсаторы переменной емкости и др. Затем можно приступить к расположению мелких деталей: транзисторов, диодов, интегральных микросхем, неоновых ламп, постоянных резисторов и конденсаторов, а также разводке соединительных проводников. Рекомендуется делать эскизы различных вариантов компоновки, сопоставление которых позволит найти оптимальное решение.

Предлагаемые в описаниях конструктивные оформления измерительных приборов не претендуют на окончательную завершенность и, вероятно, могут быть улучшены применительно к конкретным возможностям, деталям и материалам, которыми располагают радиолюбители. Поэтому в описаниях не приводятся чертежи монтажных плат с конструктивными размерами и монтажные схемы, которые при замене деталей и (или) компоновки неизбежно подвергались бы изменениям. Кроме того, иногда проявляемое некоторыми радиолюбителями стремление непременно соблюсти расположение деталей, указанное на монтажной схеме, сковывает их творческую инициативу и тем самым создает дополнительные трудности в работе. Исходя из этих соображений, можно полагать достаточным ознакомление с практически осуществленными конструктивными вариантами приборов по приведенным в описаниях фотографиям их монтажа и внешнего вида.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОНТАЖНЫХ ПЛАТ

Монтажные платы радиоизмерительных приборов можно изготовить из листовых изоляционных материалов: гетинакса, текстолита, оргстекла или полистирола. Преимуществом гетинакса и особенно текстолита является их механическая прочность, что позволяет приклепывать к ним монтажные лепестки, пистоны и некоторые детали. Оргстекло и полистирол менее прочны, но обладают гораздо лучшими электроизоляционными свойствами, что важно при изготовлении приборов, содержащих высокоомные цепи.

Разметку платы производят с помощью линейки, циркуля и острого металлического стержня, не пользуясь при этом карандашом, так как графит уменьшает поверхностное сопротивление изоляции, что может неблагоприятно отразиться на работе приборов, в которых имеются высокоомные и высоковольтные цепи. После разметки плату вырезают из заготовки резцом, изготовленным из сломанного ножовочного полотна заточкой на абразивном круге.

В большинстве описанных приборов монтажные платы несут на себе органы управления: переключатели, переменные резисторы и др., а также гнезда или зажимы, которые выводятся на лицевую панель. Поэтому соответствующие отверстия в плате и корпусе прибора должны совпадать между собой, а при разных диаметрах быть соосными.

Для совмещения отверстий после изготовления платы ее вкладывают в корпус до соприкосновения с внутренней стороной лицевой панели и острым стержнем переносят на нее все необходимые отверстия. Просверливание и дальнейшая обработка этих отверстий обеспечат их совпадение или соосность с отверстиями платы. Благодаря этому крепежные втулки переключателей, переменных резисторов, оси конденсаторов переменной емкости и других органов управления пройдут через отверстия в панели прибора. Установленные на плате гнезда или зажимы также окажутся расположенными против соответствующих отверстий в лицевой панели.

МОНТАЖ ПРИБОРОВ

Часть крупных деталей может быть установлена на монтажной плате с помощью винтов и гаек. Целесообразно нарезать внутреннюю резьбу в отверстиях платы, если ее толщина достаточна для этого. Некоторые детали, например держатели элементов, монтажные лепестки и стойки, можно приклепывать к плате, что уменьшит расход винтов и гаек на крепление. Для установки деталей наиболее пригодны алюминиевые заклепки, которые можно заменить кусочками алюминиевой или медной проволоки. Приклепывать детали к плате следует осторожно, чтобы избежать ее растрескивания.

Для выполнения отверстий в платах из оргстекла вдавливают в него стальное шило или заостренную спицу, одновременно нагревая их электропаяльником. Проведя шило через оргстекло, прекращают нагрев и, поворачивая его вокруг оси, медленно извлекают обратно. Получаемые таким способом отверстия более пригодны для нарезания в них резьбы, чем просверленные, так как в месте прокола образуется утолщение оргстекла, что способствует увеличению числа ниток резьбы и ее прочности.

Механический монтаж приборов производят в такой последовательности, чтобы при креплении деталей не были повреждены установленные ранее. Можно рекомендовать такую примерную очередность сборки: приклепывание к плате держателей элементов и монтажных лепестков или пистонов; укрепление гнезд или зажимов; привинчивание переключателей, переменных резисторов и конденсаторов переменной емкости; установка моточных деталей и разводка их выводов. Дальнейшую установку деталей и прокладку соединительных проводников осуществляют одновременно с электрическим монтажом прибора, т. е. в процессе пайки.

Предназначенные для прибора детали должны быть обязательно проверены. Лучше устанавливать в прибор те детали, которые были испытаны на макете. Транзисторы, диоды, резисторы и конденсаторы нужно располагать так, чтобы были видны обозначения и надписи на них. Выводы этих деталей не должны быть слишком короткими, во избежание перегрева при пайке. Между деталями, их выводами, а также голыми монтажными проводниками оставляют промежутки не менее 3—5 мм. Меньшие промежутки допустимы лишь, если проводники проложены по поверхности платы и укреплены на ней клеем. При выполнении монтажа, особенно с применением жгутов, желательно для различных цепей использовать провода с изоляцией разного цвета. Следует избегать даже кратковременного прикосновения паяльника к полихлорвиниловой изоляции, так как она легко оплавляется.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРПУСОВ

От тщательности изготовления корпуса в значительной мере зависит внешний вид прибора. Кроме того, в некоторых приборах корпус, помимо защитной и декоративной функций, играет также роль электрического экрана. Корпуса приборов могут быть изготовлены самостоятельно при наличии перечисленных инструментов и подходящих конструктивных материалов. Наилучшим материалом для корпусов является листовая латунь толщиной около 1 мм, которая хорошо обрабатывается: режется, гнется и опиливается, а также легко паяется. С несколько худшими результатами можно использовать листовой алюминий.

В любительских условиях легче всего сделать корпус прибора в виде прямоугольной коробки с пропаянными (или клепаными) швами и съемным нижним поддоном. Изготовление такого корпуса начинают с разметки и вырезания заготовки (развертки) в соответствии с выбранными размерами. Заготовка (рис. 71,*а*) может быть вырезана ножницами, однако при этом возникает некоторое искривление металла, которое приходится устранять правкой деревянным молотком на плите. После правки кромки заготовки опиливают и выверяют по угольнику. Если в дальнейшем предполагается соединение швов корпуса пайкой, то заготовку залуживают, причем отгибы на коротких стенках лудят с обеих сторон. После нагревания и лужения иногда может появиться небольшое коробление заготовки, устраняемое легкой правкой на плите.

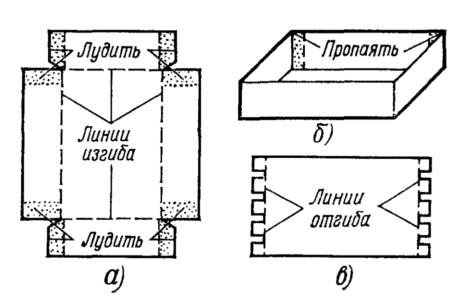


Рис. 71. Изготовление корпуса прибора: *а* — заготовка (развертка) корпуса; *б* — корпус после гибки заготовки и пропайки стыков; *в* — заготовка (развертка) поддона корпуса

Далее производят гибку заготовки вдоль линий, показанных на рис. 71,*а* штриховыми линиями.

Удовлетворительного результата можно добиться отгибанием длинных боковых стенок корпуса с помощью двух зажатых в тисках металлических уголков, между которыми помещается заготовка. Прежде чем приступить к гибке, необходимо внимательно проверить точность совпадения линии изгиба с кромками уголков, так как ошибка приведет к неисправимому перекосу корпуса. После изгибания длинных стенок корпуса делают отгибы на коротких стенках. При этом нужно проследить, чтобы линии отгибов были смещены к продольной оси заготовки примерно на полторы толщины материала. Наконец, изгибают короткие стенки корпуса, что лучше делать на оправке — деревянном бруске, размеры которого соответствуют внутренним размерам корпуса. Можно изгибать стенки и в тисках, если только ширина их щек не превышает ширины корпуса.

Для облегчения гибки заготовки из более толстого материала рекомендуется на линиях изгиба через каждые 15—20 мм разметить точки и насверлить их примерно до половины толщины (но не насквозь!) сверлом диаметром 1,5—2 мм. Благодаря этому сопротивление материала изгибу вдоль линий уменьшается, что обеспечивает бо́льшую легкость и точность гибки. Заготовку изгибают в таком направлении, чтобы насверленные точки оказались внутри корпуса и не ухудшали его внешнего вида.

По окончании гибки осаживают, если нужно, стенки корпуса деревянным молотком на оправке до наилучшего сближения ранее залуженных стыкующихся участков. Затем пропаивают швы, и на этом изготовление собственно корпуса завершается (рис. 71,*б*). Если же материал корпуса не паяется, то стыки стенок скрепляют алюминиевыми заклепками с потайными головками, под которые сверлят и зенкуют отверстия диаметром 1,5—2 мм. После клепки места стыковки стенок зачищают опиливанием.

Поддон корпуса (рис. 71,*в*) делают из того же материала, что и сам корпус. Большое количество отгибов на коротких сторонах поддона улучшает его электрический контакт с корпусом.

В коротких стенках корпуса сверлят отверстия диаметром 2 мм против крайних отгибов поддона. Вставив его в корпус, отмечают на этих отгибах положение отверстий и после извлечения поддона просверливают в намеченных местах отверстия диаметром 1,5 мм. Их расширяют, пробивая на деревянной подкладке хвостовиком сломанного сверла диаметром 2,5 мм или тонким пробойником. При этом отверстия в отгибах приобретают воронкообразную форму, что позволяет нарезать в них доброкачественную резьбу М3, несмотря на малую толщину материала. После примерки поддона с нарезанными отверстиями по месту его установки расширяют отверстия в корпусе так, чтобы сквозь них свободно проходили винты М3, служащие для крепления поддона.

Дальнейшая обработка сводится к высверливанию в корпусе отверстий под втулки переключателей, переменных резисторов, гнезда и др. Способ разметки этих отверстий описан на с. 95. Большие отверстия под стрелочные измерительные приборы нужно разметить с некоторым припуском для последующей опиловки, просверлить по периметру окружности ряд отверстий диаметром 2—3 мм, располагая их как можно ближе один к другому, и затем разрубить перемычки между смежными отверстиями крейцмейселем или узким зубилом. Следует учесть, что попытки вырубить большое отверстие без предварительного насверливания неизбежно приведут к деформации корпуса. Полученное отверстие опиливают полукруглым напильником с крупной насечкой. После подгонки диаметра отверстия и примерки стрелочного прибора размечают отверстия под резьбу М3 для винтов, крепящих его фланец. Сверление этих отверстий и их вытяжку для нарезания резьбы делают так же, как и при изготовлении поддона.

Декоративная отделка корпуса может быть выполнена в зависимости от конкретных возможностей радиолюбителя. Проще всего зашпаклевать дефектные места корпуса и окрасить его нитроэмалью или масляной краской. Можно окрасить корпус алюминиевой пудрой, разведенной бесцветным лаком, но покрытие получается настолько тонким, что потребуется весьма тщательная предварительная заделка дефектов (царапин, мелких вмятин и т. п.) и шпаклевка корпуса.

Одним из доступных для любителей способов декоративного оформления приборов является обшивка корпусов слоистым пластиком. Он может быть

приклепан к металлическому корпусу заклепками с потайными головками или приклеен эпоксидным клеем. При этом нужно лишь подогнать отдельные части обшивки одна к другой с минимальными зазорами. Отделка пластиком обеспечит привлекательный внешний вид прибора даже при менее тщательном изготовлении собственно корпуса.

Как следует из описания, самостоятельное изготовление корпусов довольно трудоемко. Радиолюбителям, не имеющим опыта или не располагающим конструктивными материалами, рекомендуется использовать подходящие по размерам металлические коробки.

В металлических корпусах могут быть выполнены почти все описанные выше приборы, за исключением генератора для настройки приемников и генератора-пробника, которые должны быть заключены в неметаллические корпуса.

По возможности следует стремиться к оформлению большинства приборов в одинаковых корпусах. Это придаст им внешнее единообразие, а кроме того, облегчит хранение приборов.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШКАЛ

Шкалы и другие отсчетные приспособления являются важнейшими частями приборов, от которых зависит правильность показаний и, в конечном итоге, точность результатов измерений. Поэтому изготовление шкал требует большой тщательности и аккуратности. Обычно в процессе градуировки прибора составляют вре́менную шкалу, отметки и знаки которой переносят затем с помощью чертежных инструментов на основную (рабочую) шкалу, устанавливаемую в приборе.

Простейшим способом изготовления рабочих шкал является вычерчивание их черной тушью на плотной бумаге. Многорядные шкалы можно выполнять и тушью различных цветов, однако следует учитывать, что излишняя пестрота шкалы затрудняет отсчет показаний. В случае применения корпусов темного цвета эффектны шкалы с белыми отметками и знаками на черном фоне. Такие шкалы можно вычертить белой гуашью или разведенной ацетоном нитроэмалью на черной упаковочной бумаге от фотоматериалов.

Наилучшие результаты при изготовлении шкал получаются посредством фоторепродукции. Для этого на плотной, не блестящей бумаге вычерчивают тушью шкалу, увеличенную в 5—10 раз по сравнению с требуемыми размерами, которую затем фотографируют при равномерном освещении. Во избежание геометрических искажений оптическая ось объектива фотокамеры должна быть перпендикулярна к фотографируемой шкале и проходить через ее центр. С полученного негатива с помощью фотоувеличителя делают отпечаток нужных размеров. Благодаря уменьшению в процессе репродукции мелкие дефекты оригинала (разная толщина линий, неоднородности начертания цифр и букв, следы исправлений и т. п.) становятся практически незаметными на отпечатке.

Для репродукционной съемки наиболее пригодны зеркальные фотокамеры с переходными объективными кольцами, однако можно воспользоваться и камерами других типов. Четкость репродуцированной шкалы обеспечивается тщательной наводкой камеры на резкость (фокус) и диафрагмированием ее объектива при съемке. Отпечатки рекомендуется делать на контрастной глянцевой фотобумаге с последующим глянцеванием накаткой.

Кроме шкал, на панелях радиоизмерительных приборов наносят также различные знаки и надписи, которые можно выполнить теми же способами, что и шкалы. В ряде случаев оказывается целесообразным одновременное изготовление всех шкал и надписей на общей основе — бумаге или (при репродукции) фотобумаге. Для улучшения внешнего вида приборов и обеспечения длительной сохранности шкал в условиях эксплуатации они должны прикрываться наличниками из тонкого оргстекла, которое можно заменить целлулоидом или, в крайнем случае, отмытой от фотоэмульсии широкоформатной фотопленкой.

Выше рассматривалось изготовление шкал, применяемых в большинстве описанных приборов в качестве самостоятельных отсчетных приспособлений. В некоторых же приборах, а именно авометре и вольтомметре, необходимо наносить дополнительные отметки и знаки на шкалы установленных в них стрелочных приборов. Из-за малых размеров этих шкал и необходимости нанесения

мелких штрихов, знаков и цифр лучше выполнять такую работу в следующем порядке. Временно снимают со стрелочного прибора фланец со стеклом. Градуировочные отметки и надписи делают на шкале тонкими карандашными линиями без нажима. По окончании разметки обводят новые штрихи, цифры и знаки тушью с помощью рейсфедера и чертежного пера, соблюдая единообразное начертание и размеры цифр и букв. Если шкала стрелочного прибора окрашена в черный цвет, то отметки, знаки и цифры процарапывают в краске иглой, зажатой в ручке-держателе. Эта операция требует некоторого навыка и осторожности, так как возможные ошибки сопряжены с риском испортить шкалу. Поэтому для приобретения опыта следует предварительно поупражняться в выполнении надписей на какой-либо окрашенной поверхности по карандашной разметке.

В некоторых случаях может оказаться, что радиолюбитель располагает стрелочным прибором с подходящими электрическими параметрами, но его шкала не пригодна для данной конструкции. Для изготовления новой шкалы снимают шкалу, имеющуюся в приборе, и на ее оборотную сторону наклеивают плотную бумагу, на которой вычерчивают новую шкалу. Еще лучше сделать ее с помощью фоторепродукции.

При разборке стрелочных приборов следует оберегать их измерительный механизм от засорения, особенно стальными опилками, которые могут попасть в магнитную систему и повредить прибор.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный в настоящей книге комплект радиоизмерительных приборов дает возможность выполнять различные измерения, необходимые в радиолюбительской практике. Предлагаемые приборы могут использоваться как в отдельности, так и в сочетаниях между собой или с другой аппаратурой. Например, генератор сигналов совместно с вольтомметром и милливольтметром предназначен для настройки и регулировки радиоприемных устройств, генератор сигналов может использоваться с приставкой для измерения емкостей и индуктивностей, кварцевый калибратор с сигнал-индикатором — для градуировки генераторов и т. д.

Таким образом, совокупность описанных приборов представляет собой измерительную лабораторию радиолюбителя, которая впоследствии может пополняться вновь создаваемыми приборами.

При изготовлении, налаживании, градуировке и эксплуатации приборов измерительной лаборатории нужно использовать имеющиеся промышленные радиоизмерительные приборы (см. прилож.), ознакомление с техническими описаниями которых и приобретение навыка в работе с ними помогут радиолюбителю повысить свой технический кругозор и опыт.

Уменье оценить степень достоверности и точности полученного в процессе измерений результата — одна из основных задач измерений, поэтому цель радиолюбителей не только изготовить описанные конструкции, но и научиться правильно ими пользоваться.

Систематическое применение построенных приборов в практической работе позволит выявить их достоинства и недостатки, наметить пути к созданию более совершенной радиоизмерительной аппаратуры.

Направление последующей работы и выбор вновь создаваемых приборов в значительной мере будут обусловлены особенностями той области радиоэлектроники, которая представляет наибольший интерес для радиолюбителя. По-видимому, было бы нецелесообразно приводить здесь какие-то определенные рекомендации, перечислять конкретные виды приборов, обсуждать возможные схемы и конструкции, вдаваясь в детальные подробности. Тем не менее, опираясь на личный опыт, накопленный в течение многолетней радиолюбительской деятельности, автор все же считает уместным привести некоторые общие соображения.

Для конструкторов КВ и УКВ аппаратуры необходимым прибором с широкими возможностями практического применения является гетеродинный индикатор резонанса (ГИР). С помощью этого несложного прибора можно измерять резонансные частоты и оценивать добротность колебательных контуров и цепей с распределенными постоянными, настраивать направленные

антенны и их согласующие устройства, определять собственные частоты резонанса конденсаторов и дросселей, проверять кварцевые резонаторы и др. Кроме того, ГИР может служить в качестве частотомера и генератора сигналов. Применение в нем доступных СВЧ транзисторов позволяет увеличить верхний предел частот вплоть до дециметровых любительских диапазонов. Ультракоротковолновикам, стремящимся к повышению чувствительности радиоприемных устройств, имеет смысл построить также генератор шумов, использование которого значительно облегчит налаживание высокочастотных каскадов аппаратуры и их оптимальное согласование с антенно-фидерным трактом.

Радиолюбителям, занимающимся изготовлением аппаратуры для высококачественного, в том числе стереофонического звуковоспроизведения, потребуется генератор звуковых частот и, возможно, измеритель коэффициента гармоник. Наличие таких приборов существенно упрощает налаживание усилительных устройств, в частности, настройку корректирующих цепей, регулировку частотно-разделительных фильтров и других узлов, от которых зависит качество звучания. Вероятно, звуковой генератор окажется полезным и создателям многоканальных цветомузыкальных установок, приобретающих в последнее время все более широкую популярность.

Для налаживания и ремонта телевизоров нужны различные пробники, позволяющие быстро определять работоспособность отдельных узлов и блоков, а также источники испытательных сигналов, например, генераторы шахматного или сеточного поля. Такие приборы могут быть изготовлены с применением распространенных интегральных микросхем.

Каждому радиолюбителю, независимо от профилирующего направления его деятельности, неоценимую пользу принесет электронный осциллограф — наиболее универсальный измерительный прибор. Осциллограф обеспечивает наблюдение формы и измерение параметров всевозможных электрических колебаний и импульсов, а в совокупности с относительно несложными вспомогательными устройствами — получение частотных, амплитудных, вольт-амперных и других характеристик различных устройств, цепей и элементов, как активных, так и пассивных. Визуальное отображение параметров, явлений и процессов, происходящих в радиоэлектронной аппаратуре, значительно расширяет объем получаемой информации и представляет ее в концентрированной и наиболее удобной для восприятия форме.

Наличие широкого ассортимента интегральных микросхем, транзисторов и полупроводниковых диодов, в том числе высоковольтных, а также малогабаритных электронно-лучевых трубок позволяет построить в любительских условиях сравнительно простой и компактный осциллограф с автономным или универсальным питанием. При конструировании такого прибора целесообразно предусмотреть в нем некоторые резервы внутреннего объема и мощности источника питания, с учетом перспективы его последующего усовершенствования за счет добавления вспомогательных узлов. Возможен, конечно, и другой путь: приобретение осциллографа промышленного изготовления и расширение его функций с помощью различных приставок, например, электронного коммутатора, генератора качающейся частоты и т. п. Осуществление такого варианта вполне реально, благодаря серийному выпуску промышленностью нескольких типов осциллографов, специально предназначенных для радиолюбителей.

Вообще, следует иметь в виду, что измерительная лаборатория радиолюбителя отнюдь не обязательно должна состоять только из самодельных приборов. Не исключено (и даже желательно) включение в ее состав отдельных приборов промышленного производства. В частности, представляется рациональным начать оснащение лаборатории с приобретения готового авометра. Некоторые затраты вскоре возместятся экономией времени и труда, так как наличие авометра с гарантированной (соответственно его классу) точностью сразу создаст надежную базу для налаживания и градуировки самодельной измерительной аппаратуры.

В заключение остается пожелать читателям успехов в создании и использовании радиолюбительской лаборатории, приобретения необходимого опыта и развития творческой инициативы, овладения радиоизмерительной техникой, которая представляет широкое поле для разносторонней деятельности радиолюбителей.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Перечень приборов, рекомендуемых для настройки и градуировки изготовленных измерительных приборов

Прибор	Назначение	Прибор	Назначение
ВК7-1 В3-3 В3-4 В3-36 В3-12 В3-4	Вольтметр переменного тока Милливольтметры и вольтметры переменного тока	С1-20 С1-5А	Осциллографы универсальные
		Ч4-1 Ч3-22 Ф571	Частотомеры
Г4-1А Г4-7А Г3-8	Генераторы сигналов	Е12-2 УМВ	Мосты постоянного и переменного тока
Р33 КМС-6	Магазин сопротивлений	Ч5-1	Кварцевый калибратор частоты
УИП-1	Источник постоянного напряжения до 500 В	ТОН-2, ТОН-2А ТМ-2А, ТМ-2М	Головные телефоны

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Борисов В. Г., Фролов В. В. Измерительная лаборатория начинающего радиолюбителя. — М.: Энергия, 1976. — 136 с.

Васильев В. А., Веневцев М. К. Лаборатория начинающего радиолюбителя. — М.: Энергия, 1969. — 48 с.

Власенков А. Т., Солдатенков В. А. Основные измерения в практике радиолюбителя. — М.: Изд-во ДОСААФ, 1971. — 111 с.

Грибанов Ю. И. Измерения и приборы в радиолюбительской практике. — М.: Энергия, 1966. — 192 с.

Демиденко Д. А., Кругликов Д. А. Радиолюбительские измерительные приборы на транзисторах. — М.: Изд-во ДОСААФ, 1977. — 143 с.

Дудич И. И. Простые измерительные приборы. — М.: Энергия, 1970. — 72 с.

Лозицкий Б. Н., Мельниченко И. И. Электрорадиоизмерения. — М.: Энергия, 1976. — 224 с.

Ломанович В. А. Домашняя радиолаборатория. — М.: Связь, 1970. — 142 с.

Меерсон А. М. Радиоизмерительная техника. — 3-е изд. — Л.: Энергия, 1978. — 408 с.

Почепа А. М. Проверка исправности электрорадиодеталей в домашних условиях. — 2-е изд. — Одесса: «Маяк», 1975. — 223 с.

Ринский В. И. Измерительная лаборатория радиолюбителя. — М.: Энергия, 1971. — 168 с.

Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам/Н. Н. Горюнов, А. Ю. Клейман, Н. Н. Комков и др. — 4-е изд. — М.: Энергия, 1976. — 744 с.

Справочник по радиоизмерительным приборам/Ю. С. Гаврилов, А. С. Еременко, Л. Ю. Зубилевич и др. — М.; Энергия, 1976. — 622 с.

Терешин А. И., Софронов В. А. Справочник по эксплуатации радиоизмерительных приборов. — 4-е изд. — Киев: «Техніка», 1973. — 500 с.

Шер С. И. Приборы для проверки и настройки телевизоров. — М.: Связь, 1975. — 40 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ